



TUGAS AKHIR-SF 184801

**ESTIMASI DOSIS AKTIVITAS RADIOFARMAKA Tc^{99m}
METHYLENE DIPHOSPHONATE (MDP) PADA
PEMINDAIAN TULANG DENGAN KAMERA GAMMA**

Salma Niatu Zakiah
NRP 01111640000024

Dosen Pembimbing
Yanurita Dwi Hapsari, S. Si., M. Sc
dr.Fadil Nazir, Sp.KN(K)

Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020



TUGAS AKHIR – SF 184801

Estimasi Dosis Aktivitas Radiofarmaka Tc^{99m} Methylene Diphosphonate (MDP) pada Pemindaian Tulang dengan Kamera Gamma

Salma Niatu Zakiah
NRP 0111164000024

Pembimbing
Yanurita Dwi Hapsari, S.Si., M.Sc
dr. Fadil Nazir, Sp.KN(K)

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT– SF 184801

**The Estimation of Dose Activity of Tc^{99m} Methylene
Diphosphonate (MDP) Bone Scan Using Gamma Camera**

Salma Niatu Zakiah
NRP 0111164000024

Supervisor
Yanurita Dwi Hapsari, S.Si., M.Sc
dr. Fadil Nazir, Sp.KN(K)

**DEPARTMENT PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALYTICS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**Estimasi Dosis Aktivitas Radiofarmaka Tc^{99m} Methylene
Diphosphonate (MDP) pada Pemindaian Tulang dengan
Kamera Gamma
TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Fisika Medis dan Biofisika
Program Studi S1 Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh
Salma Niatu Zakiah
01111640000024**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

**Yanurita Dwi Hapsari, S.Si., M.Sc
NIP. 19780102 200312 1 002**

**dr. Fadil Nazir, Sp.KN(K)
NIP. 19600203 199103 1 004**



(.....)
(.....)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Estimasi Dosis Aktivitas Radiofarmaka Tc^{99m} Methylene Diphosphonate (MDP) pada Pemindaian Tulang dengan Kamera Gamma

Penulis : Salma Niatu Zakiah
NRP : 0111164000024
Departement : Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data
Dosen Pembimbing : Yanurita Dwi H, S.Si., M.Sc
dr. Fadil Nazir, Sp.KN(K)

Abstrak

Telah dilakukan pemeriksaan dengan metode pemindaian tulang kepada 21 orang dengan rerata umur (58.14±7.05) tahun, 12 orang dengan gejala diabetes mellitus tipe 2 (T2DM) dan 9 orang non diabetes mellitus (non DM). Pemindaian dilakukan menggunakan kamera gamma *dual head* AnyScan Mediso buatan Hongaria dengan kolimator jenis LEHR (*Low Energy High Resolution*) dan batas *window* 20%. Radioisotop yang diberikan yaitu Tc^{99m} dan kit farmaka MDP dengan rerata dosis yang diinjeksikan (12.4±2.64) mCi atau (458±977.78) MBq. Pemindaian dilakukan pada posisi anterior dan posterior masing-masing 7cm dari meja pemeriksaan. Data yang diperoleh lalu diolah dengan metode *freehandsregion-of-interest* (ROI) untuk memperoleh cacahan organ. Hasil cacahan organ kemudian diolah dan dihitung untuk mendapatkan nilai estimasi dosis aktivitas Tc^{99m} Methylene Diphosphonate (MDP) pada organ. Perhitungan dilakukan dengan metode tanpa koreksi radiasi *background* (tanpa koreksi) dan metode koreksi. Dari perhitungan diperoleh hasil bahwa perhitungan menggunakan metode tanpa koreksi lebih akurat dibandingkan dengan metode koreksi, karena memperhitungkan faktor atenuasi dan tebal organ. Estimasi dosis aktivitas panggul orang nonDM lebih tinggi yaitu sebesar 8.21% daripada orang T2DM sebanyak 7.74%. Estimasi dosis aktivitas panggul posterior lebih besar daripada anterior. Sementara itu, estimasi aktivitas kandung kemih anterior relatif lebih besar dari posterior dengan estimasi orang T2DM (6.84%) lebih besar dari orang non DM (4.18%).

Kata kunci: Aktivitas, Diabetes Mellitus, Kamera Gamma, Pemindaian Tulang, Tc^{99m} MDP.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

The Estimation of Dose Activity of Tc^{99m} Methylene Diphosphonate (MDP) MDP Bone Scan Using Gamma Camera

Name : Salma Niatu Zakiah
NRP : 0111164000024
Departement : Physics, Faculty of Science
and Data Analytics
Supervisor : Yanurita Dwi H, S.Si., M.Sc
dr. Fadil Nazir, Sp.KN(K)

Abstract

A bone scan was performed in 21 volunteers with the mean age of (58.14 ± 7.05) years consisted of 12 people with type 2 diabetes mellitus (T2DM) people and 9 healthy volunteers (non DM). Scanning performed using the AnyScan Mediso dual head gamma camera made in Hungary with a LEHR (Low Energy High Resolution) collimator and a window boundary of 20%. The radioisotopes given were Tc^{99m} and pharmaceutical Methylene Diphosphonate (MDP) with the average dose injected of (12.4 ± 2.64) mCi or (458 ± 977.78) MBq. Scans were performed in the posterior and anterior positioned at 7 cm from the examination table. The data are processed using the region-of interest (ROI) method to obtain organ counts. The calculation is done by the method without background radiation correction (without correction) and the correction method. From the calculations, the results shows that the calculation using the method without background radiation correction is more accurate than the correction method, because it considers the attenuation factor and organ thickness. The estimated dose of pelvic activity of non-DM volunteers is 8.21% higher than T2DM people of 7.74%. The estimated dose of posterior pelvic activity is greater than anterior part. Meanwhile, the estimation of anterior bladder activity is relatively greater than the posterior with estimated activity is greater in T2DM volunteers (6.84%) than non-DM (4.18%).

Keyword: Activities, Diabetes Mellitus, Gamma Camera, Bone Scan, Tc^{99m} MDP.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukurkamipanjatkan kehadiratAllah SWTatas petunjuk,rahmatdan hidayah-Nya, kamidapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul percobaan **“Estimasi Dosis Aktivitas Radiofarmaka Tc^{99m} Methylene Diphosphonate (MDP) pada Pemindaian Tulang dengan Kamera Gamma”** ini dengan lancar dan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas bantuan, dorongan dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan terimakasih pada:

1. Keluarga tercinta, Alm.Ayahanda Sugito, Ibunda Muslikah dan kakak yang selalu memberikan dukungan dan menjadi motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Yanurita Dwi Hapsari, S.Si., M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah membantu penulis dalam member bimbingan, wawasan, motivasi dan nasehat sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
3. Bapak dr. Fadil Nazir, Sp.KN, selaku dokter spesialis kedokteran nuklir di PTKMR BATAN yang telah bersedia menjadi pembimbing yang sabar, baik, dan selalu memberi motivasi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
4. Bapak Dr.Gatut Yudoyono, M.T dan Dr.Bintoro Agung Subagyo, selaku Kepala Departemen dan Sekretaris Departemen Fisika FSAD ITS yang telah memberikan kemudahan sarana selama kuliah sampai terselesainya Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr.Ali Yunus Rohedi selaku dosen wali yang telah memberikan saran yang berhubungan dengan mata kuliah

- selama masa perkuliahan penulis
6. Diah Eka Savitri dan Iffa Prisela Wulan Agustina selaku teman seangkatan yang telah membantu penulis dalam proses pengambilan data.
 7. Penghuni Laboratorium Fisika Medis yang memberikan bantuan dan motivasi.
 8. Fisika 2016 (Sirius) yang selalu memberi saran dan motivasi bagi penulis
 9. Pihak-pihak yang membantu dan telah memberi penulis referensi berupa buku, artikel maupun tulisan sehingga dapat menyempurnakan kebenaran-kebenaran baik dalam dasar teori ataupun pada pembahasan dalam laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari akan adanya banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Semoga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan berguna dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang Fisika Medis dan Biofisika. Aamiin Ya Rabbal Alamin.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Anatomi dan Fisiologi Tulang	7
2.2 Radioaktivitas.....	7
2.3 Radioisotop Tc ^{99m}	11
2.4 Bone Scan Tc ^{99m} MDP	13
2.5 Kamera Gamma.....	15
BAB III METODOLOGI	21
3.1 Alat dan Bahan	21
3.2 Metode Penelitian	25
3.2.1 Persiapan Radiofarmaka	25
3.2.2 Pemindaian	26
3.2.3 Pengolahan Data	27
3.3 Diagram Alir	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Analisa Data	23
4.2 Perhitungan	23
4.2.1 Metode Tanpa Koreksi	25
4.2.2 Metode Koreksi	26
4.2.3 Fraksi Injeksi	27
4.3 Grafik	28

4.4 Pembahasan.....	37
4.4.1 Dosis Aktivitas	39
4.4.2 Biodistribusi Tc ^{99m} MDP	45
4.4.3 Korelasi	45
BAB V KESIMPULAN.....	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	55
BIODATA PENULIS	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Anatomi Tulang posisi anterior dan posterior	8
Gambar 2.2 Prinsip Generator Molibdenum/Teknesium	12
Gambar 2.3 Peluruhan Tc^{99m}	13
Gambar 2.4 Prinsip Kerja Kamera Gamma	16
Gambar 2.5 Penampang Kamera Gamma.....	17
Gambar 2.6 Jenis Kolimator.....	18
Gambar 3.1 Dual Head Gamma Camera	18
Gambar 3.2 Komputer	20
Gambar 3.3 <i>Dose Calibrator</i>	22
Gambar 3.4 Surveymeter Analog	22
Gambar 3.5 Syringe.....	22
Gambar 3.6 Shielding Carrying	23
Gambar 3.7 Barrier.....	23
Gambar 3.8 Sandal Lab	23
Gambar 3.9 TLD	24
Gambar 3.10 Generator Teknesium	24
Gambar 3.11 Kit Farmaka MDP.....	24
Gambar 3.12 Diagram Alir.....	28
Gambar 3.10 Generator Teknesium	24
Gambar 4.1 Hasil ROI pada Tulang Panggul	29
Gambar 4.2 Peta Peluruhan Tc^{99m}	30
Gambar 4.3 Biodistribusi Aktivitas Tc^{99m} MDP.....	35
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Aktivitas terhadap Dosis injeksi Panggul pada pasien T2DM	35
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Aktivitas terhadap Dosis injeksi 1/3 Proksimal Os Femur Kanan pada pasien DM	36
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Aktivitas terhadap Dosis injeksi Kandung Kemih pada pasien DM	36
Gambar 4.7 Plot Grafik Aktivitas Tulang Panggul Pasien DM	42
Gambar 4.8 Plot Grafik Aktivitas Tulang Panggul Pasien non DM	43

Gambar 4.9 Plot Grafik Aktivitas Kandung kemih Pasien DM	44
Gambar 4.10 Plot Grafik Aktivitas pada Kandung kemih Pasien non DM	44

DAFTAR TABEL

Table 4.1	Hasil olah Data Cacahan 1.4476 mCi pada Citra Anterior dan Posterior.....	30
Table 4.2	Hasil Perhitungan Dosis Aktivitas Pasien T2DM dan non DM dengan Cara I.....	30
Table 4.3	Hasil Perhitungan Dosis Aktivitas Pasien T2DM dan non DM dengan Cara II.....	30
Table 4.4	Hasil Perhitungan Aktivitas Pasien non DM pada posisi Anterior dan Posterior Cara II.....	33
Table 4.5	Hasil Perhitungan Aktivitas Pasien T2DM dan non DM pada dengan Cara II.....	33
Table 4.6	Area ROI Organ.....	33
Table 4.7	Biodistribusi Fraksi injeksi Radiofarmaka dalam Organ cara I.....	34
Table 4.8	Biodistribusi Fraksi injeksi Radiofarmaka dalam Organ cara II.....	34
Table 4.9	Hasil Korelasi Aktivitas terhadap Dosis Injeksi..	24
Table 4.10	Hasil Korelasi Aktivitas terhadap Lama Pemeriksaan.....	35

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar 4.11 Hasil Citra Panggul Posterior	55
Gambar 4.12 Hasil Citra Panggul Anterior.....	55
Gambar 4.13 Hasil Citra <i>Whole Imageor</i> orang 001 T2DM..	56

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kedokteran nuklir merupakan spesialisasi medis yang memanfaatkan sumber radiasi terbuka untuk keperluan diagnostik dan terapi. Salah satu pemeriksaan diagnostik dalam kedokteran nuklir adalah pemindaian tulang. Pemindaian tulang atau *bone scan* digunakan untuk mengetahui kondisi fungsional dari tulang melalui pemindaian dalam bentuk suatu citra. Pemindaian dilakukan dengan menyuntikkan radiofarmaka (radioisotop yang telah dicampur obat atau farmaka) kedalam tubuh melalui pembuluh darah. Salah satu modalitas yang digunakan untuk pemindaian adalah kamera gamma. Radiasi gamma dari sumber radiasi terbuka atau *open shield source* yang dipancarkan oleh tubuh berasal dari radiofarmaka. Selanjutnya radiasi gamma tersebut akan ditangkap oleh detektor dalam perangkat kamera gamma yang kemudian diproses pada komputer sehingga menghasilkan citra tulang. Dari hasil citra tulang inilah, seorang dokter spesialis kedokteran nuklir dapat melakukan diagnosis terkait ada atau tidaknya kelainan fisiologi atau patofisiologi pada tulang (Langsteger et al., 2016).

Modalitas lain yang juga dapat memantau adanya kelainan pada tulang dapat dilakukan menggunakan perangkat *computed tomography* (CT) *scan*, *magnetic resonance imaging* (MRI) dan *X-ray* untuk diagnostik secara morfologi atau anatomik. Untuk diagnostik secara fisiologik, patofisiologi maupun metabolik seluler digunakan modalitas yang terdapat di kedokteran nuklir dengan radiofarmaka Tc^{99m} -MDP (*Methylene Diphosponate*) dengan cara pemindaian tulang. Tc^{99m} -MDP merupakan senyawa radiofarmaka yang dibuat khusus untuk diagnosis pencitraan pada tulang. Radioisotop Tc^{99m} digunakan karena memiliki waktu paruh relatif singkat yaitu 6 jam sehingga proses biodistribusi di dalam tubuh pasien tidak membutuhkan waktu yang lama, dan memancarkan radiasi gamma murni dengan energi 140 keV, dengan batasan dosis injeksi sekitar 15-25 mCi sesuai dengan

ketentuan yang berlaku. Tc^{99m} diperoleh melalui peluruhan radioisotope Mo^{99} , dengan menggunakan generator (Filzen et al., 2017).

Pemberian dosis pada pemeriksaan pemindaian tulang relatif tinggi jika dibandingkan dengan pemeriksaan renogram/ginjal yang hanya menggunakan dosis sekitar 3 mCi atau 111 MBq. Karena pemeriksaan ini menggunakan radioisotop dengan aktivitas relatif tinggi dan dilakukan pemindaian pada posisi anterior dan posterior, maka dianggap perlu untuk mengetahui dan mengevaluasi biodistribusi, estimasi dosis aktivitas radiofarmaka didalam organ sehingga pemberian dosis dapat dikurangi untuk meminimalkan dosis aktivitas yang diterima tubuh.

Penelitian ini dilakukan pada 21 sukarelawan/orang yaitu 12 orang dengan Diabetes Melitus Tipe II (T2DM) dan 9 orang non DM. DM merupakan kelainan metabolisme tubuh dimana tulang secara perlahan kehilangan kualitas (komposisi) tulang sehingga menyebabkan kemampuan tulang dalam menyerap mineral berkurang atau terganggu bahkan tidak berfungsi. Sementara itu, orang dengan T2DM mayoritas memiliki kecenderungan untuk selalu berkemih (membuang air kemih) (Jiao et al., 2015). Dalam struktur rangka pada manusia, tulang yang memiliki ukuran relatif besar dan padat adalah tulang panggul. Dengan demikian, setiap pemeriksaan yang menggunakan radiasi ionisasi didaerah tulang panggul akan memberikan aktivitas besar pada tulang panggul tersebut. Salah satu pemeriksaan untuk mengetahui adanya kelainan fungsional tulang adalah metode pemindaian tulang yang ditandai dengan berkurangnya aktivitas radiofarmaka yang diserap oleh tulang. Oleh karena itu, penelitian Tugas Akhir ini dilakukan untuk menentukan perbedaan akurasi perhitungan estimasi dosis aktivitas menggunakan metode non koreksi dan koreksi. Metode non koreksi atau tanpa koreksi radiasi *background* menggunakan koreksi atenuasi dan tebal organ. Sementara itu, metode koreksi diperoleh melalui pemindaian 1.4476 mCi Tc^{99m} pada posisi anterior dan posterior

dengan jarak masing-masing 7 cm setiap satu menit selama sepuluh menit.

Organ utama yang diamati adalah tulang panggul, 1/3 proksimal os femur serta kandung kemih. Selain karena penjelasan diatas, organ yang diamati adalah tulang panggul dan 1/3 proksimal os femur karena untuk melihat estimasi (perkiraan) aktivitas dari segi ukuran tulang. Sementara itu, untuk mengetahui dari segi kemampuan absorpsi atau fungsional tulang, objek yang diamati pada orang T2DM dan non DM dengan menganalisa dari hasil pemindaian radiofarmaka Tc^{99m} MDP menggunakan kamera gamma *dual head* AnyScan Mediso buatan Hongaria dengan rerata radiofarmaka yang diinjeksikan (12.4 ± 2.64) mCi melalui pembuluh darah pada lengan.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah yang diangkat pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimanakah menentukan perbedaan dosis aktivitas tulang panggul pada orang dengan T2DM dan nonDM pada pemindaian tulang menggunakan metode tanpa koreksi dan metode koreksi ?
- b. Bagaimanakah menentukan perbedaan dosis aktivitas 1/3 proksimal os femur pada orang dengan T2DM DM dan non DM pada pemindaian tulang menggunakan metode tanpa koreksi dan metode koreksi ?
- c. Bagaimanakah menentukan perbedaan dosis aktivitas kandung kemih pada orang dengan T2DM DM dan non DM pada pemindaian tulang menggunakan metode tanpa koreksi dan metode koreksi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan perbedaan dosis aktivitas tulang panggul antara orang T2DM dan nonDM pada pemindaian tulang menggunakan metode tanpa koreksi dan metode koreksi.
- b. Menentukan perbedaan dosis aktivitas 1/3 proksimal os femur antara orang T2DM dan nonDM pada pemindaian tulang menggunakan metode tanpa koreksi dan metode koreksi.
- c. Menentukan perbedaan dosis aktivitas kandung kemih antara orang T2DM dan nonDM pada pemindaian tulang menggunakan metode tanpa koreksi dan metode koreksi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian Tugas Akhir ini adalah

- a. Pemeriksaan dilakukan pada daerah tulang panggul dan 1/3 proksimal os femur dengan radiofarmaka Tc^{99m} -MDP pada orang T2DM dan nonDM dengan rerata umur (58.14 ± 7.05) tahun.
- b. Perhitungan estimasi dosis aktivitas menggunakan 2 cara yang berbeda yaitu metode non koreksi dengan memperhitungkan faktor atenuasi dan metode non koreksi dengan koreksi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui estimasi dosis aktivitas pada organ yang dinilai
- b. Menunjukkan adanya kelainan (*anomaly*) pada organ melalui jumlah estimasi baik *count* maupun dosis aktivitas pada organ
- c. Menunjukkan kepada para ahli khususnya dokter, bahwa diagnosa suatu kelainan tidak hanya dilihat dari citra yang dihasilkan, namun didukung oleh estimasi dosis pada organ

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika berikut:

- a. Bab I Pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.
- b. Bab metode koreksi Tinjauan Pustaka berisi kajian pustaka yang digunakan pada penelitian tugas akhir.
- c. Bab metode koreksi I Metodologi berisi tentang data yang diperoleh dan langkah kerja dari penelitian yang dilakukan.
- d. Bab IV Analisa Data dan Pembahasan berisi tentang hasil dan pembahasan penelitian.
- e. Bab V Kesimpulan dan Saran berisi tentang kesimpulan dan saran terkait pada penelitian ini.
- f. Lampiran berisi tentang data yang diperoleh dan hasil olah data menggunakan software statistica 10 dan Microsoft Excel.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

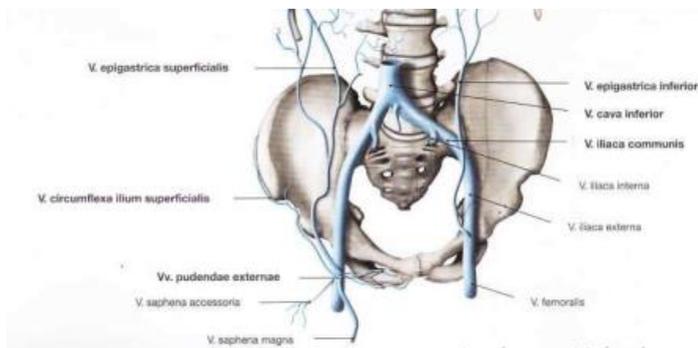
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Anatomi dan Fisiologi Tulang

Tulang merupakan organ yang berstruktur keras dan kaku yang membentuk kerangka manusia (Raynaud-Messina et al., 2019). Rangka manusia terdiri dari tulang-tulang yang menyokong tubuh manusia yang terdiri dari tulang tengkorak, tulang badan dan tulang anggota gerak. Sistem kerangka dalam tubuh manusia dibagi menjadi dua, antara lain kerangka aksial dan kerangka apendikuler (Pearce, 2009).

Sistem rangka dalam tubuh manusia terdiri dari tulang dan kartilago. Tulang sebagai sistem rangka memiliki peran penting sebagai anggota gerak aktif, tempat melekatnya otot untuk dapat bekerja, membentuk komponen sel sel darah termasuk eritrosit dalam sumsum tulang, menyimpan kalsium dan fosfor dan mengeluarkannya bila dibutuhkan serta pelindung bagi organ didalamnya seperti jantung, paru-paru, hati, otak dan sebagainya. Dalam struktur rangka pada manusia, tulang yang memiliki ukuran relatif besar dan padat adalah tulang panggul (Gibson, 2002).



Gambar 2.1 Anatomi tulang panggul
(Waschke.J dan Palsen.F, 2017)

2.2 Radioaktifitas

Dalam kedokteran nuklir, digunakan suatu sumber radiasi terbuka dari suatu inti radioaktif untuk keperluan diagnostik maupun terapi dengan menginjeksikan radiofarmaka kedalam tubuh (in vivo) maupun in vitro. Pemeriksaan kedokteran nuklir (pemindaian) banyak digunakan untuk keperluan diagnostik berbagai penyakit seperti kelenjar gondok, gangguan fungsi ginjal dan hati serta mendeteksi penyebaran kanker pada tulang. Melalui pemindaian ini, dapat diperoleh citra organ tubuh pasien dengan bantuan instrumen kamera gamma yang memberikan informasi fungsional tubuh serta kurva hubungan aktivitas dan nilai yang menggambarkan akumulasi radioisotop didalam tubuh (Diah Ayu dkk, 2016).

Radionuklida dapat meluruh dengan mengemisikan jenis radiasi ionisasi yang berbeda yaitu partikel alpha (α), partikel beta negative (β^-), partikel beta positif (β^+), dan sinar gamma (γ). Untuk keperluan diagnostik radionuklida yang dipakai harus mengemisikan gamma atau positron. Sementara untuk keperluan terapi, radionuklida yang dipakai harus meluruhkan partikel alpa atau beta. Radiasi gamma adalah jenis radiasi elektromagnetik. Ketika digunakan untuk keperluan diagnostik, radioaktif yang memproduksi sinar gamma harus memiliki energi yang cukup untuk keluar atau menembus tubuh pasien. Energi ideal untuk metode SPECT konvensional pada instrumen kedokteran nuklir sekitar 140 keV (Ballinger, 2008).

Peluruhan partikel alpa dan beta (β^- , β^+ dan *electron capture*) dapat menghasilkan inti anak (*daughter*) dalam keadaan tereksitasi tanpa mengeluarkan penuh jumlah energi peluruhan yang tersedia. Kemudian, inti anak ini akan mencapai keadaan dasar baik secara spontan maupun dengan waktu tunda (isomer metastabil) melalui dua cara berikut (Bailey and American Association of Physicists in Medicine, 2014):

- a. Dalam proses peluruhannya, memancarkan energi eksitasi dalam bentuk satu atau lebih sinar Gamma.

- b. Mentransfer energi eksitasi ke salah satu orbital elektron (biasanya pada kulit k), kekosongan akibat elektron orbital yang dikeluarkan akan terisi oleh elektron dari kulit atom yang lebih tinggi dan menghasilkan sinar X atau yang disebut Auger elektron. Proses perpindahan elektron ke orbital kulit yang berbeda dinamakan transisi.

Proses peluruhan Gamma dan proses konversi internal direpresentasikan dalam persamaan berikut :



dimana, ${}^A_ZX^*$ merupakan keadaan tereksitasi dari inti A_ZX . Sementara ${}^A_ZX^+$ adalah keadaan ionisasi tunggal dari atom A_ZX (Bailey and American Association of Physicists in Medicine, 2014).

Radioaktif diekspresikan dengan Satuan Internasional (SI) yaitu Becquerels (Bq). Satu Becquerels menyatakan satu *disintegration per second* (dps). Umumnya, satuan yang digunakan untuk aktivitas radiofarmaka dalam rentang Megabecquerels (MBq) atau Gigabecquerels (GBq). Namun dalam beberapa kesempatan, satuan aktivitas yang digunakan adalah miliCurie (mCi). Hubungan antara Bq dan Ci adalah 1 Ci sama dengan 37 GBq (Ballinger, 2008). Ada beberapa cara yang bisa digunakan untuk menentukan akumulasi dosis aktivitas yaitu sebagai berikut:

- a. Metode Non Koreksi Radiasi *Background* (Tanpa Koreksi)

$$A = \frac{f}{C} \times \sqrt{\frac{I_a \times I_p}{e^{-t\mu_e}}} \dots\dots\dots (3)$$

$$f = \frac{\frac{t}{2}\mu_e}{\sinh \frac{t}{2}\mu_e} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan I_a dan I_p merupakan cacahan pada posisi anterior dan posterior, μ_e merupakan koefisien atenuasi linier (0,143 /cm untuk Tc^{99m}) (Wilhelmina C.A.M. et al., 1998), t adalah tebal organ yang di ROI, f adalah faktor koreksi dari tebal organ dan koefisien atenuasi linier serta C merupakan faktor kalibrasi.

Faktor kalibrasi diperoleh melalui pemindaian sejumlah mCi Tc^{99m} pada posisi anterior dan posterior terhadap waktu (Wilhelmina C.A.M. et al., 1998). Pada penelitian Tugas Akhir ini, dilakukan pemindaian sebanyak 1.4476 mCi Tc^{99m} pada posisi anterior dan posterior dengan masing- masing jarak 7 cm setiap satu menit selama 10 menit dan diperoleh rerata cacahan (C) sebesar 231430.95 cpm/mCi.

b. Metode Koreksi

$$Aa = Ca \times FKa \dots\dots\dots (5)$$

$$Ap = Cp \times FKp \dots\dots\dots (6)$$

$$FKa = \frac{1.4476}{\text{rerata count anterior}} \text{ mCi/count} \dots\dots\dots (7)$$

$$FKp = \frac{1.4476}{\text{rerata count posterior}} \text{ mCi/count} \dots\dots\dots (8)$$

$$A = \sqrt{Aa \times Ap} \text{ (mCi)} \dots\dots\dots (9)$$

Dengan Ca dan Cp adalah cacahan pada posisi anterior dan posterior dari citra yang diperoleh melalui proses ROI. FKa dan FKp merupakan faktor koreksi pada posisi anterior dan posterior. Faktor koreksi diperoleh melalui pemindaian sejumlah mCi pada posisi anterior dan posterior dalam selang waktu tertentu (Saragih et al., 2018). Dalam penelitian Tugas Akhir ini, dilakukan pemindaian sebanyak 1.4476 mCi Tc^{99m} pada posisi anterior dan posterior dengan masing- masing jarak 7 cm setiap satu menit selama 10 menit.

2.3 Radioisotop Tc^{99m}

Radioisotop yang digunakan untuk keperluan diagnostik harus memenuhi persyaratan :

- a. Memancarkan sinar gamma murni dengan rentang energi antara 100-250 keV untuk menghasilkan pemindaian maksimum pada kamera gamma.

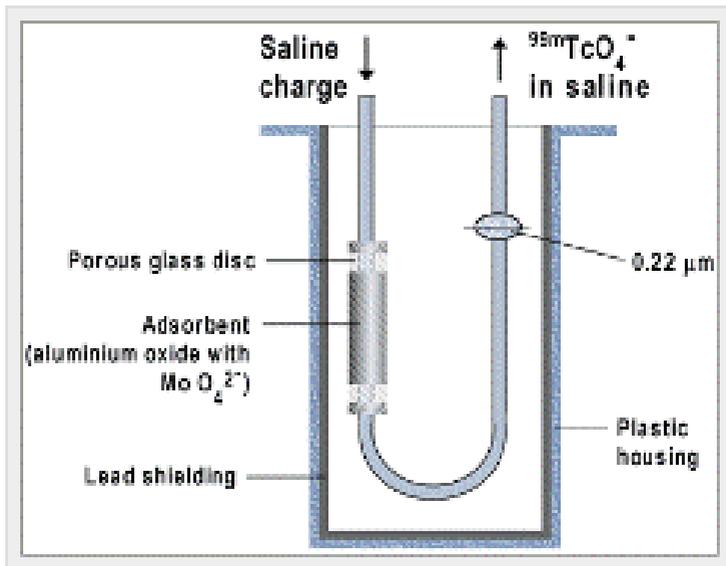
- b. Memiliki waktu paruh fisik yang memungkinkan untuk proses diagnostik, biasanya digunakan waktu paruh yang 1.5 kali dari lama pemeriksaan yang diperlukan.
- c. Memberikan tingkat dosis rendah untuk pasien dan pekerja radiasi
- d. Radiofarmaka yang digunakan tidak bersifat racun atau *non-toxicity*
- e. Memiliki ikatan yang stabil selama penggunaan
- f. Murah dan tersedia
- g. Mudah untuk direparasi

Teknesium⁻⁹⁹ metastabil atau Tc^{99m} merupakan radioisotop yang banyak digunakan untuk pemeriksaan diagnostik dalam kedokteran nuklir. Tc^{99m} memiliki karakteristik yaitu mampu mengemisikan radiasi gamma dengan energi sebesar 140 keV serta memiliki waktu paruh relatif singkat 6 jam. Tc^{99m} diperoleh dari hasil peluruhan Mo⁹⁹, yang dapat dihasilkan melalui berbagai cara antara lain sistem ekstraksi, generator dengan bantuan kolom alumina (Al₂O₃ didalam generator) dan NaCl 0.9% (Filzen et al., 2017).

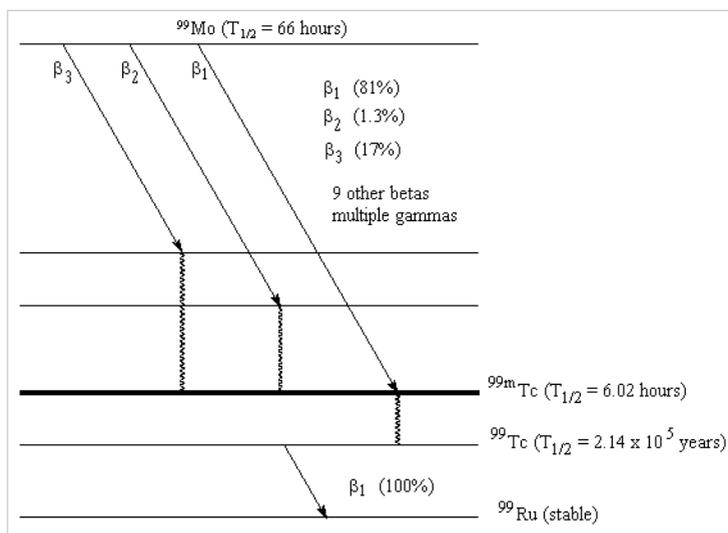
Pada penelitian Tugas Akhir ini, Tc^{99m} dihasilkan melalui generator Molibdenum. Prinsip yang digunakan dalam generator adalah dengan memisahkan radionuklida *parent* berumur panjang dan radionuklida *daughter* dengan umur pendek. Generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc terdiri dari kolom alumina (Al₂O₃) yang didalamnya diabsorpsikan larutan Molibdenat Mo⁹⁹ dan larutan NaCl dengan konsentrasi 0.9%. Dalam generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc, Molibdenum dalam bentuk ion Molibdenum ⁹⁹ MoO₄²⁻ yang terikat pada kolom alumina. Kemudian, diberi larutan garam (NaCl) sebanyak 0.9% dan menghasilkan radionuklida anak yaitu ^{99m}Tc O₄⁻ sebagai ion perteknetat. Tc^{99m} yang dihasilkan tidak terikat oleh kolom alumina dan bebas dari kontaminasi Mo⁹⁹. Proses menghasilkan Tc^{99m} ini disebut sebagai elusi (Ballinger, 2008).

Desain dari generator Molibdenum/Teknesium terdiri dari kolom, filter, *shielding* dan plastik. Kolom biasanya terbuat dari

kaca yang mengandung lapisan aluminium oksida (alumina) sebagai tempat mengikat Mo^{99} sehingga tidak akan hanyut bersama Tc^{99m} yang dihasilkan. Filter dalam generator biasanya dalam bentuk frus berpori yang berfungsi untuk menyaring partikel dan memastikan bahwa produk yang dihasilkan steril. Tebal filter berkisar $0.22 \mu\text{m}$. Kemudian *shielding* terbuat dari timbale (Pb) yang digunakan untuk keselamatan operator. Baik radiasi induk maupun anak memancarkan radiasi yang harus diserap. Sebenarnya, kolom kaca juga berperan sebagai pelindung parsial tetapi tidak mampu menghentikan radiasi gamma yang menembus. Sementara itu, wadah plastik memiliki peran sebagai pegangan untuk kemungkinan pengangkatan dan pemosisian manual atau mekanis (humanhealth.iaea.org diakses pada 16-12-2019).



Gambar 2.2 Prinsip Generator Molibdenum/teknesium
(humanhealth.iaea.org, diakses pada 16-12-2019)



Gambar 2.3 Peluruhan $\text{Tc}^{-99\text{m}}$
(humanhealth.iaea.org, diakses pada 16-12-2019)

2.4 Pemindaian Tulang $\text{Tc}^{99\text{m}}$ -MDP

Metil Diphosponat (MDP) adalah kit farmaka yang mengandung senyawa kimia yang digunakan untuk pemeriksaan fungsi tulang. Namun secara umum, beberapa kit farmaka yang digunakan untuk diagnostik tulang adalah (MDP), hidroksietil diposponat (HMDP) dan hidroksietil difosponat (HDP/HMDP). Semua kit farmaka ini tersedia secara komersial dan disuplai sebagai vial yang mengandung diphosponat (On behalf of the EANM Bone & Joint Committee and the Oncology Committee. et al., 2016). MDP kemudian di campur dengan radioisotop sehingga menghasilkan senyawa radiofarmaka dengan kemurnian yang tinggi, stabil dalam ikatannya, steril serta dapat terakumulasi pada organ sasaran sehingga radiasi yang dipancarkan dapat digunakan untuk mendeteksi adanya kelainan pada organ tulang untuk diagnostik atau keperluan evaluasi pasca terapi (Mughtaridi, 2014).

Di kedokteran nuklir, penggunaan radiofarmaka Teknesium^{99m} Methylene Diphosphonate atau Tc^{99m}-MDP untuk pemeriksaan pada tulang. Biasanya, pemeriksaan tulang ini dilakukan untuk mendeteksi kelainan pada tulang antaralain infeksi, patah (fraktur) serta adanya metastatis pada tulang akibat kanker pada organ lain maupun pada tulangnya. Tc^{99m}-MDP dimasukkan kedalam tubuh melalui injeksi menggunakan jarum suntik pada pembuluh vena (pembuluh darah balik). Selanjutnya pasien menjalani pemeriksaan atau pencitraan untuk seluruh bagian tulang 1-2 jam setelah dilakukan injeksi Tc^{99m}-MDP sebesar ± 740 MBq atau 15-25 mCi (Verma et al., 2016).

Senyawa MDP yang membawa Tc^{99m} yang berikatan dengannya menuju tulang dengan mengikuti metabolisme tubuh melalui jantung. Kemudian, jantung akan memompa keseluruhan tubuh, $\pm 50\%$ Tc^{99m}-MDP yang diinjeksikan akan terserap kedalam tulang dan sisanya akan diekskresikan kedalam kandung kemih melalui urin (Bombardieri et al., 2003).

Dalam metode pemindaian tulang, ada beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam prosesnya yaitu (Naddaf et al., 2004).

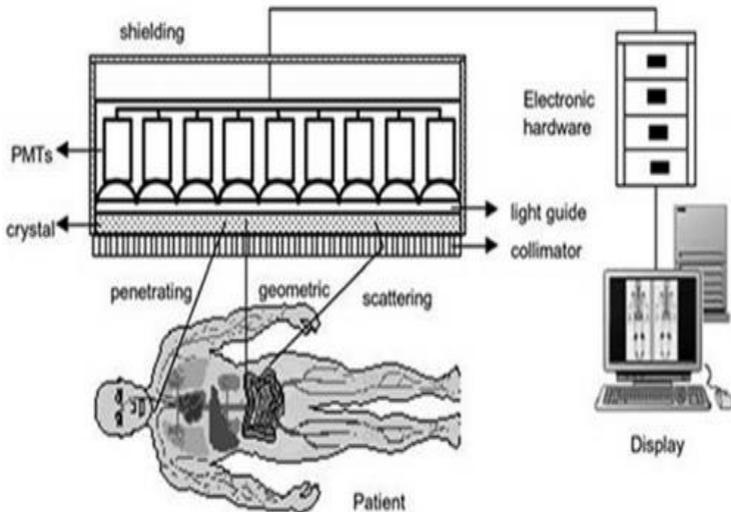
- a. Pasien dalam keadaan kandung kemih tepat sebelum akuisisi dimulai
- b. Teknisi memastikan kenyamanan pasien yang meliputi posisi yang tepat dengan menggunakan atribut tambahan untuk mengamankan posisi sebagaimana perlunya.
- c. Untuk pemindaian tulang, mayoritas digunakan *dual-head* kamera yang dilengkapi dengan kolimator *Low Energy High resolution* (LEHR)
- d. Batas energi *window* 20% dengan puncak 140 keV
- e. Digunakan matriks 256x1,024x16 atau lebih
- f. Secara umum pemindaian dilakukan selama 10-15 menit
- g. Pemindaian dilakukan dari tengkorak ke ujung kaki dengan panjang yang disesuaikan menurut tinggi pasien
- h. Pemindaian pada lokasi (organ) lain jika diperlukan

2.5 Kamera Gamma

Pencitraan menggunakan radionuklida yang meliputi pemindaian planar, Single Photon Emission Tomography (SPECT) dan Positron Emission Tomography (PET) bergantung kepada prinsip *tracer* yang digunakan, dimana sebagian kecil dari radiofarmaka masuk kedalam tubuh untuk mengetahui fisiologis tubuh (Zaidi, 2006). Di kedokteran nuklir, perangkat yang digunakan untuk pencitraan organ ada 2 yaitu kamera gamma dan kamera PET (*Positron Emission Tomography*). Detektor kamera gamma ditemukan oleh Hal O Anger di Barkeley pada tahun 1957, sehingga kamera gamma juga dikenal dengan kamera Anger. Kamera gamma terdiri dari 4 komponen dasar yaitu kolimator, detektor, komputer dan gantri (Bailey and American Association of Physicists in Medicine, 2014).

Hampir semua pencitraan radiasi gamma menggunakan kamera sintilasi. Prinsip dan komponen dasar dari kamera sintilasi menggunakan Kristal natrium iodida yang didoping dengan talium menjadi NaI Tl dan dilengkapi dengan kolimator parallel *hole* yang berfungsi untuk membatasi penerimaan dan distribusi radiasi gamma. Dibelakang Kristal NaI Tl, digabungkan dengan PMT (Photomultiplier Tube) yang berfungsi mengubah distribusi cahaya menjadi sinyal elektronik. Hasil dari PMT kemudian diolah dan dihasilkan sinyal keluaran yang mewakili (x,y). Gambar yang ditampilkan tergantung dari ukuran kamera sintilasi yang digunakan (Zaidi, 2006).

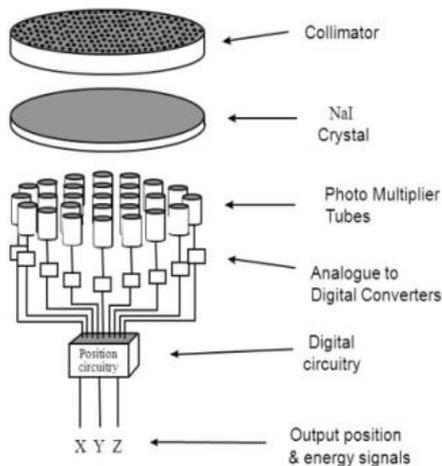
Kolimator terdiri dari seperangkat lubang atau pipa-pipa kecil yang disebut septa dan terbuat dari bahan padat dengan nomor atom tinggi seperti Pb. Ada 4 macam bentuk lubang pada kolimator yaitu paralel, konvergen, divergen dan *pin hole*. Kolimator yang paling umum digunakan adalah bentuk paralel (Bailey and American Association of Physicists in Medicine, 2014).



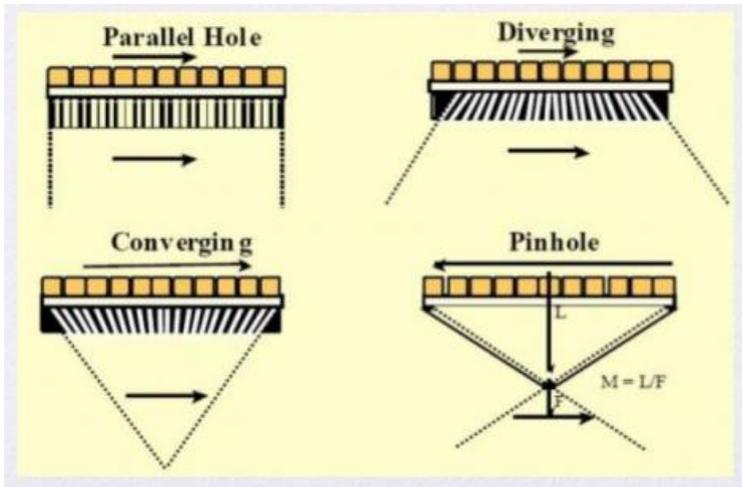
Gambar 2.4 Prinsip kerja kamera gamma
(Zaidi, 2006)

Kolimimator paralel *hole* berbentuk seperti sarang madu dengan pipa yang terbuat dari timbal yang membentuk ribuan saluran paralel lurus sehingga kolimimator ini hanya menangkap foton yang menumbuk permukaan detektor dari arah yang tegak lurus. Sebuah kolimimator lubang paralel memiliki diameter lubang sekitar 2 mm dan panjang pipa sekitar 4 cm. Desain dari sebuah kolimimator merupakan faktor terpenting dalam menentukan efisiensi geometris dan sensitivitas suatu pencitraan. Sensitivitas suatu kolimimator selalu lebih buruk daripada sensitivitas intrinsik dari detektor yang dioperasikan tanpa kolimimator. Namun, kolimimator sangat menentukan resolusi spasial suatu sistem pencitraan. Resolusi spasial sistem sangat bergantung pada jenis kolimimator yang digunakan dan resolusi rendah dari detektor intrinsik. Untuk meningkatkan sensitivitas geometris, desain kolimimator dapat diubah. Namun hal ini menyebabkan hilangnya resolusi geometris atau jika mengubah desain kolimimator agar resolusi lebih baik akan menurunkan sensitivitas kolimimator (Zaidi, 2006).

Ada beberapa desain kolimator dalam lima belas tahun terakhir yang mengoptimalkan resolusi dan sensitivitas dari desai detektor. Misalnya kolimator konvergen yang dikonfigurasi dengan *fan-beam* dan *geometric cone-beam* untuk meningkatkan resolusi dan sensitivitas dengan menambahkan jumlah kamera gamma ke sumber radiasi. Hal ini memang meningkatkan sensitivitas kolimator namun juga membatasi bidang pandang terhadap paparan radiasi. Jenis kolimator lain seperti pinhole dengan hanya satu atau beberapa lubang dirancang untuk pemindaian organ kecil. Kolimator pin *hole* berguna untuk pemindaian organ kecil seperti tiroid (Bailey and American Association of Physicists in Medicine, 2014). Dari sudut pandang akurasi kuantitatif kolimator pin *hole* memiliki potensi terbaik dari ketiga jenis lainnya. Namun, kolimator jenis ini umumnya memiliki tingkat sensitivitas yang relatif rendah (Ueno et al., 2018).



Gambar 2.5 Penampang kamera gamma
(Sumber: researchgate.net)



Gambar 2.6 Jenis kolimator
(Sumber: researchgate.net)

Bila ditinjau peruntukan kolimator dibagi lagi untuk jenis energi radiasi yang dipancarkan, yaitu:

- LEHR (low energy high resolution)**, digunakan untuk radionuklida yang memancarkan radiasi gamma rendah energi,. LEHR digunakan juga untuk memperoleh resolusi spasial tinggi.
- Low energy all/ general-purpose (LEAP atau LEGP)**, digunakan untuk radionuklida yang memancarkan radiasi gamma rendah energi, juga untuk mengoptimalkan *trade-off* antara resolusi spasial dan efisiensi
Untuk kolimator LEHR dan LEAP/LEGP, radionuklida yang dipakai biasanya, ^{57}Co 122 keV, ^{123}I 159 keV, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 140 keV dan ^{201}Tl 69-81 keV.
- Medium energy all/general-purpose (MEAP atau MEGP)** digunakan untuk radionuklida yang memancarkan radiasi gamma dengan energi intermediet, juga untuk mengoptimalkan *trade-off* antara resolusi spasial dan

- efisiensi. Pada kolimator ini, radionuklida yang dipakai biasanya ^{67}Ga 296 keV, ^{111}In 172 dan 247 keV.
- d. *High energy, all/ general-purpose* (HEAP atau HEGP) digunakan untuk radionuklida yang memancarkan radiasi gamma dengan energi tinggi, juga untuk mengoptimalkan trade-off antara resolusi spasial dan efisiensi. Pada kolimator ini, radionuklida yang dipakai biasanya ^{131}I 284-364 keV (Carrio, 2019).

Sistem pertama untuk pencitraan radionuklida yang memancarkan radiasi gamma dan positron dirancang dengan kristal NaI Tl. NaI Tl merupakan detektor yang paling umum digunakan karena memiliki nomor atom relatif tinggi dan probabilitas penyerapan foto elektron yang tinggi untuk energi resolusi yang terlibat dalam pencitraan kedokteran nuklir konvensional. Jenis detektor lain seperti germanium menawarkan resolusi terbaik yang memungkinkan penolakan efisiensi penyerapan Compton pada pasien. Namun, karena celah yang sempit, detektor germanium harus dioperasikan pada suhu tinggi sehingga membutuhkan pendingin (Zaidi, 2006).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Alat dan Bahan

Dalam penelitian Tugas Akhir ini, alat dan bahan yang digunakan antara lain *Dual head* kamera gamma Mediso buatan Hongaria, komputer, *dose calibrator*, *surveymeter*, *syringe*, *shielding carrying*, *barrier* Pb, radioisotop Tc^{99m} dan kit farmaka MDP. Alat dan bahan yang digunakan memiliki fungsi sebagai berikut:

a. Kamera Gamma

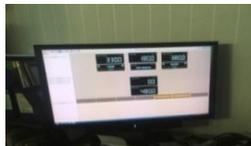
Kamera gamma merupakan instrument utama yang digunakan untuk melakukan diagnostik di kedokteran nuklir. Kamera gamma yang digunakan pada penelitian ini adalah *dual head camera* Mediso AnyScan S yang berfungsi untuk memberikan gambar proyeksi dari distribusi radioaktivitas pada pasien dengan membentuk gambar dari sinar yang keluar dari tubuh pasien.



Gambar 3.1 Dual Head Gamma Camera

b. Komputer

Komputer digunakan untuk akuisis pemeriksaan dan memproses data berupa gambar serta kurva dan data kuantitatif lainnya.



Gambar 3.2 Komputer

c. *Dose Calibrator*

Dose calibrator digunakan untuk mengukur besar dosis yang akan diberikan ke pasien di kedokteran nuklir.



Gambar 3.3 *Dose Calibrator*

d. *Surveymeter*

Surveymeter digunakan untuk keselamatan, proteksi serta pemantauan paparan radiasi personal, dilingkungan sekitar atau daerah kerja dan limbah serta kontaminasi.



Gambar 3.4 *Surveymeter Analog*

e. *Syringe*

Syringe sebagai jarum suntik yang akan diisi radiofarmaka untuk di berikan ke pasien.



Gambar 3.5 *Syringe*

f. *Shielding carrying*

Shielding carrying digunakan sebagai wadah untuk menempatkan dan membawa *shielding syringe* yang telah berisi radiofarmaka.



Gambar 3.6 *Shielding carrying*

g. *Barrier Pb*

Barrier Pb digunakan sebagai penghalang atau pelindung dari paparan radiasi



Gambar 3.7 *Barrier*

h. Alat Proteksi Diri

Alat proteksi diri merupakan komponen penting yang wajib dipakai oleh setiap pekerja radiasi, antara lain; sarung tangan karet, apron Pb, *long tang*, masker dengan karbon aktif serta kaca mata Pb, sepatu dan sandal khusus.



Gambar 3.8 Sandal Lab

i. Dosimeter Perorangan

Dosimeter Perorangan adalah alat ukur radiasi yang digunakan untuk mengukur paparan dosis dari sumber radiasi yang diterima oleh tubuh. Salah satu dosimeter perorangan yang sering digunakan untuk monitoring pekerja radiasi adalah *Dosimeter Thermo Luminescence*.



Gambar 3.9 TLD

j. Generator.

Digunakan untuk menghasilkan Tc^{99m} dengan cara memisahkan Tc^{99m} dari Mo^{99} .



Gambar 3.10 Generator Teknesium

k. Kit Farmaka MDP

Obat atau kit farmaka yang digunakan untuk membawa Tc^{99m} menuju tulang.



Gambar 3.12 Kit Farmaka MDP

3.2 Metode Penelitian

Langkah kerja yang dilakukan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Persiapan Radiofarmaka

a. Proses Elusi

Pemisahan Tc^{99m} melalui proses elusi dari generator Teknesium setiap pagi diruangan hot lab selama proses pemindaian tulang berlangsung. Untuk mengetahui jumlah dosis radiasi Tc^{99m} yang dihasilkan dari proses elusi, digunakan alat ukur radiasi (AUR) yaitu *dose calibrator*. *Dose calibrator* merupakan AUR digital sehingga jumlah radiasi bisa langsung terbaca pada komputer

b. Pelabelan dengan MDP menjadi Tc^{99m} MDP

Vial Tc^{99m} dimasukan kedalam vial MDP, lalu dikocok secara perlahan sampai merata sehingga menjadi larutan radiofarmaka Tc^{99m} MDP. Untuk proses injeksi kedalam tubuh orang diambil dengan *syringe* atau jarum suntik (*full syringe*). Kemudian, diukur dosis radiasi pada *syringe* menggunakan *dose calibrator*. Untuk masing masing pemindaian, di cacah ulang dengan *dose calibrator* dan siap digunakan untuk injeksi ke orang.

c. Registrasi Data Orang

Dicatat data diri pada orang meliputi umur, jenis kelamin, berat badan, tinggi badan serta riwayat penyakit.

d. Injeksi ke orang

Radiofarmaka Tc^{99m} MDP dimasukkan kedalam tubuh orang melalui injeksi pada pembuluh darah intra vena dibagian lengan orang sebanyak 10-15 mCi. Radiofarmaka dalam *syringe* tidak masuk sepenuhnya kedalam tubuh orang, akan ada yang tertinggal (*empty syringe*). Diukur sisa radiofarmaka dalam *syringe* atau *empty syringe* menggunakan *dose calibrator*. Jumlah radiofarmaka yang masuk kedalam tubuh orang merupakan selisih *full syringe* dengan *empty syringe*.

e. Waktu Tunggu

Setelah injeksi, orang dilarang keluar dari ruangan pemindaian. Sebelum dilakukan pemindaian, orang disarankan untuk minum air mineral sebanyak-banyaknya dan BAK (buang air kecil) ditempat yang telah disediakan serta menunggu selama 1 jam. Hal ini disebabkan karena Tc^{99m} MDP membutuhkan waktu untuk dapat terakumulasi pada tulang.

3.2.2 Pemindaian Kamera Gamma

a. Pemindaian

Pemindaian dilakukan 21 orang dengan rerata umur (58.14 ± 7.05) tahun 12 orang T2DM dan 9 orang non DM. Pemindaian dilakukan 1 jam setelah injeksi, meliputi pemindaian tulang pada daerah panggul anterior dan posterior melingkupi 1/3 proksimal dari os femur bersamaan selama 10 menit, pada jarak 7 cm dari posisi anterior dan posterior. Dilakukan untuk semua orang.

b. Pemindaian Tc^{99m} untuk konversi

Dilakukan pemindaian Tc^{99m} sebanyak 1.4476 mCi menggunakan kamera gamma. Tc^{99m} yang telah disiapkan dalam *syringe* dibawa menggunakan *shielding caring* ke ruang pemindaian kamera gamma. Kemudian, *syringe* diletakkan pada meja pemeriksaan kamera gamma dan dilakukan pemindaian sebanyak 10 kali per menit dengan selang waktu 1 menit pada jarak 7 cm dengan posisi kamera yaitu anterior dan posterior. Hasil dari pemindaian ini dilakukan untuk mengkonversi cacahan organ menjadi aktivitas. Hasil pemindaian juga digunakan untuk mempelajari bahwa radiofarmaka meluruh tiap waktu.

3.2.3 Pengolahan Data

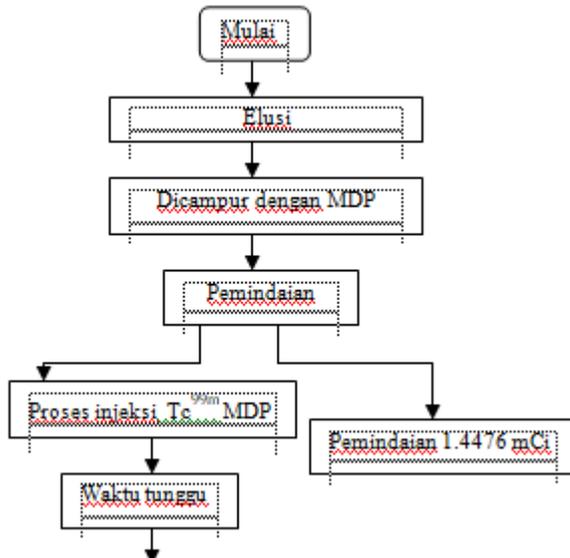
Setelah pengambilan data, dilakukan pengolahan data pada komputer yang meliputi langkah-langkah berikut:

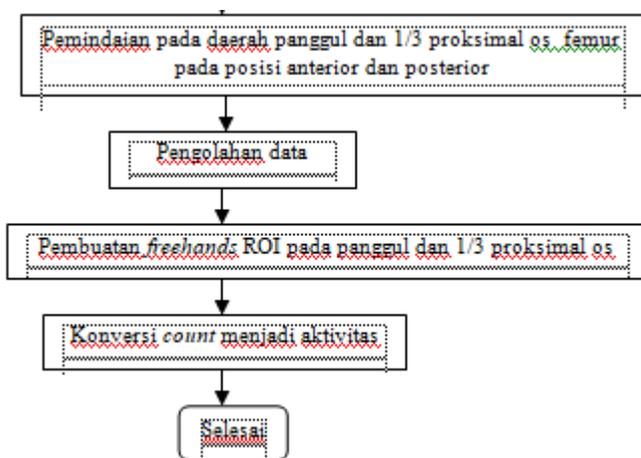
- a. Dilakukan proses segmentasi atau *freehans* ROI (*region of interest*) pada daerah panggul dan 1/3 proksimal os femur

- anterior dan posterior yang menghasilkan informasi berupa cacahan organ.
- b. Dihitung dosis aktivitas menggunakan persamaan (3) dan (9)
 - c. Dianalisa perbedaan antara citra anterior dan posterior melalui persamaan (5) dan (6)
 - d. Dianalisa hasil perhitungan aktivitas melalui persamaan (3) dan persamaan (9)
 - e. Dianalisa biodistribusi Tc^{99m} MDP pada tubuh
 - f. Dibuat grafik hubungan antara dosis aktivitas organ dengan lama pemeriksaan dan dosis injeksi menggunakan program Statistica version 10.

3.3 Diagram Alir

Secara garis besar, diagram alir dari penelitian Tugas Akhir diperlihatkan pada Gambar 3.12 berikut:



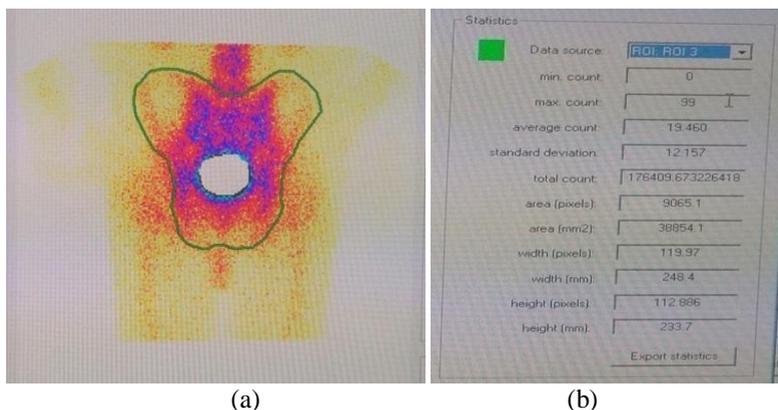


Gambar 3.12 Diagram alir

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

Citra atau *image* yang dihasilkan dari penelitian diolah menggunakan metode ROI yang kemudian diperoleh cacahan pada tulang panggul, 1/3 proksimal os femur dekstra dan sinistra serta kandung kemih yang ditampilkan pada Gambar 4.1



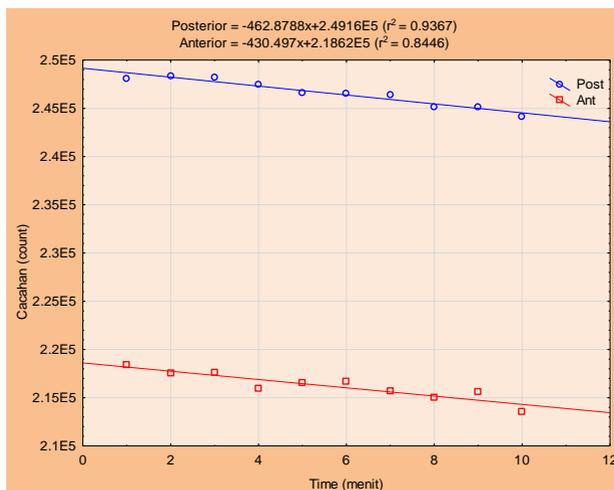
Gambar 4.1 (a) Hasil ROI pada tulang panggul (b) Cacahan pada tulang panggul

4.2 Perhitungan

Cacahan yang telah diperoleh diolah menjadi satuan dosis aktivitas untuk setiap organ. Kemudian diperoleh grafik korelasi antara dosis aktivitas terhadap dosis injeksi dan lama pemeriksaan. Hasil pemindaian dapat dibaca langsung pada layar monitor komputer kamera gamma seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Olah Data Cacahan 1.4476 mCi pada Citra Anterior dan Posterior

Menit ke-	Anterior (cacahan /menit)	Poterior (cacahan /menit)
1	218422	248097
2	217513	248324
3	217583	248182
4	215979	247480
5	216535	246636
6	216662	246565
7	215659	246443
8	214998	245105
9	215613	245125
10	213536	244162
Rerata	216250	246611.9

Gambar 4.2 Peta Peluruhan Tc^{99m} sebanyak 1.4476 mCi dari Citra Anterior dan Posterior

Pada umumnya, untuk setiap pemeriksaan bone scan digunakan rerata aktivitas injeksi sebesar (300-740) MBq. Namun, pada prakteknya akan ada volume Tc^{99m} MDP yang tertinggal didalam *syringe* saat proses penyuntikan sukarelawan. Oleh karena itu, dalam penelitian tugas akhir ini aktivitas Tc^{99m} MDP yang diinjeksikan kedalam tubuh sukarelawan perlu dikoreksi dengan aktivitas Tc^{99m} MDP yang tertinggal didalam *syringe*, atau dengan cara menentukan selisih aktivitas antara *full syringe* dan *empty syringe* yang diukur menggunakan *dose calibrator*. Dari pemindaian diperoleh hasil berupa gambar 2D, data yang ditampilkan berisi informasi tentang lebar panjang serta total *cacahan* dari organ yang di ROI.

4.2.1 Metode Tanpa Koreksi

Metode non koreksi radiasi *background* atau tanpa koreksi menggunakan persamaan (3), dengan tebal organ diambil dari posisi pemindaian yaitu 7 cm dari anterior dan posterior dengan titik 0 pada meja pemeriksaan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.2. Berikut adalah contoh perhitungan menggunakan persamaan (3).

Diketahui: μ_e untuk $Tc^{99m} = 0.143/cm$

Asumsi : tebal organ setiap orang sama = 7 cm

Cacahan panggul anterior = 126236.401

Cacahan panggul posterior = 176409.673

$C = 231430.95$ cpm/mCi

Ditanya : A?

Penyelesaian:

$$f = \frac{\frac{7}{2} cm \times 0.143 /cm}{\sinh \frac{7}{2} cm \times 0.143/cm} = 0.959438683$$

$$e^{-\mu t} = e^{-0.143 \times 7} = 0.367511746$$

Contoh perhitungan pada sukarelawan 001 T2DM:

$$A = \frac{0.959438683}{231430.95} mCi/cpm \times \sqrt{\frac{126236.401 \times 176409.673}{0.367511746}} cpm = 1.020502 mCi$$

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Dosis Aktivitas sukarelawan T2DM dan non DM dengan Metode Tanpa Koreksi

Organ	Rerata Aktivitas (mCi) T2DM	Rerata Aktivitas (mCi) non DM
Panggul	0.985±0.105	1.03±0.073
1/3 proksimal es femur kanan	0.152±0.031	0.181±0.035
1/3 proksimal es femur kiri	0.151±0.033	0.173±0.038
Kandung Kemih	0.918±0.42	0.504±0.117

4.2.2 Metode dengan Faktor Koreksi

Faktor koreksi ini diperoleh melalui pemindaian 1.4476 mCi Tc^{99m} , yang hasilnya dapat dilihat dalam Tabel 4.1. Metode koreksi menggunakan persamaan (5-9), dan diperoleh hasil pada Tabel 4.5. Dari hasil pengolahan data, diperoleh bahwa ukuran segmentasi atau ROI pada tiap organ berbeda yang ditunjukkan pada Tabel 4.6. Contoh perhitungan menggunakan persamaan 5 hingga 9 sebagai berikut:

$$Faktor\ Koreksi\ Anterior = \frac{1.4476\ mCi}{216250\ count} = 6,6941 \times 10^{-6}$$

$$Faktor\ Koreksi\ Posterior = \frac{1.4476\ mCi}{246611.9\ count} = 5,86995 \times 10^{-6}$$

Contoh perhitungan dosis aktivitas pada sukarelawan 001 untuk tulang panggul:

$$A(\text{anterior}) = 126236,4012\ (count) \times 6,6941 \times 10^{-6} \frac{mCi}{count} = 0,84503\ mCi$$

$$A(\text{posterior}) = 126236,4012\ (count) \times 5,8699 \times 10^{-6} \frac{mCi}{count} = 1,03551\ mCi$$

$$A = \sqrt{0,84503 \times 1,03551} = 0.935434132(mCi)$$

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Aktivitas sukarelawan T2DM pada Posisi Anterior dan Posterior dengan Metode Koreksi

Aktivitas (mCi)		
Organ	Anterior	Posterior
Panggul	0.869±0.100	0.939±0.105
Kandung Kemih	1.142±0.504	0.621±0.27
1/3 proksimal es femur kanan	0.139±0.043	0.142±0.02
1/3 proksimal es femur Kiri	0.136±0.042	0.143±0.02

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Aktivitas sukarelawan non DM pada Posisi Anterior dan Posterior dengan Metode Koreksi

Aktivitas (mCi)		
Organ	Anterior	Posterior
Panggul	0.935±0.05	0.963±0.09
Kandung Kemih	0.693±0.19	0.159±0.034
1/3 proksimal es femur kanan	0.173±0.036	0.148±0.035
1/3 proksimal es femur Kiri	0.170±0.039	0.311±0.075

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Dosis Aktivitas sukarelawan T2DM dan non DM dengan Metode Koreksi

Organ	Rerata Aktivitas (mCi) T2DM	Rerata Aktivitas (mCi) non DM
Panggul	0.9±0.100	0.951±0.06
1/3 proksimal es femur kanan	0.142±0.030	0.166±0.032
1/3 proksimal es femur kiri	0.137±0.030	0.159±0.035
Kandung Kemih	0.86±0.399	0.502±0.123

Tabel 4.6 Area ROI Organ

Organ	T2DM		non DM	
	Aktivitas (mCi)	Area (mm)	Aktivitas (mCi)	Area (mm)
Panggul	0.9042907	25.69205	0.9518193	25.613333

1/3 proksimal os femur kanan	0.1410052	7.251666667	0.1669387	7.1216667
1/3 proksimal os femur kiri	0.1399066	7.485833333	0.1595358	6.8338889

4.2.3 Fraksi injeksi

Setelah diperoleh dosis aktivitas pada organ yang dinilai dengan Metode tanpa koreksi dan II, kemudian dicari fraksi injeksi untuk setiap organ. Hasil dari perhitungan fraksi injeksi dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan 4.8. Perhitungan fraksi injeksi dilakukan menggunakan persamaan berikut,

$$\% \text{ Fraksi injeksi} = \frac{\text{Aktivitas organ (mCi)}}{\text{Aktivitas injeksi (mCi)}} \times 100\%$$

Berikut contoh perhitungan pada sukarelawan 001 untuk tulang panggul :

$$\% \text{ Fraksi injeksi} = \frac{0.940 \text{ mCi}}{16.13 \text{ (mCi)}} \times 100\% = 5.82\%$$

Tabel 4.7 Biodistribusi Fraksi Injeksi Radiofarmaka didalam Organ Metode tanpa koreksi

Organ	Fraksi injeksi T2DM	Fraksi injeksi non DM
Panggul	8.26%	8.96%
1/3 proksimal es femur kanan	1.30%	1.55%
1/3 proksimal es femur kiri	1.27%	1.48%
Kandung Kemih	7.12%	4.22%

Tabel 4.8 Biodistribusi Fraksi Injeksi Radiofarmaka didalam Organ Metode Koreksi

Organ	Fraksi injeksi T2DM	Fraksi injeksi non DM
Panggul	7.74%	8.21%
1/3 proksimal es femur kanan	1.22%	1.43%
1/3 proksimal es femur kiri	1.19%	1.36%
Kandung Kemih	6.84%	4.18%

4.3 Grafik

Setelah diperoleh dosis aktivitas pada tulang daerah panggul, 1/3 proksimal os femur kanan dan kiri, kemudian dicari korelasi antara dosis aktivitas terhadap dosis injeksi dan lama pemeriksaan. Hasil korelasi antara estimasi dosis aktivitas pada organ terhadap dosis injeksi dapat dilihat pada Tabel 4.9. Sementara itu, hasil korelasi antara estimasi dosis aktivitas pada organ terhadap lama pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 9 Hasil Korelasi (r^2) Aktivitas terhadap Dosis Injeksi

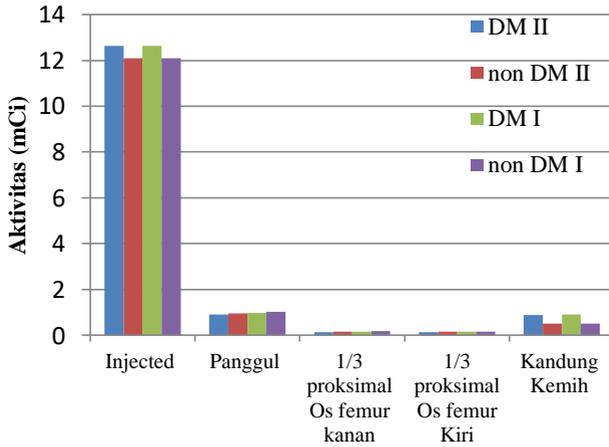
Organ	Metode tanpa koreksi		Metode Koreksi	
	T2DM	non DM	T2DM	non DM
Panggul	0.1035	0.3826	0.0988	0.3849
1/3 proksimal os femur kanan	0.1744	0.0004	0.1713	0.0001
1/3 proksimal os femur Kiri	0.0285	0.0002	0.0271	0
Kandung Kemih	0.4864	0.3575	0.4849	0.4442

Tabel 4. 10 Hasil Korelasi (r^2) Aktivitas terhadap Lama Pemeriksaan

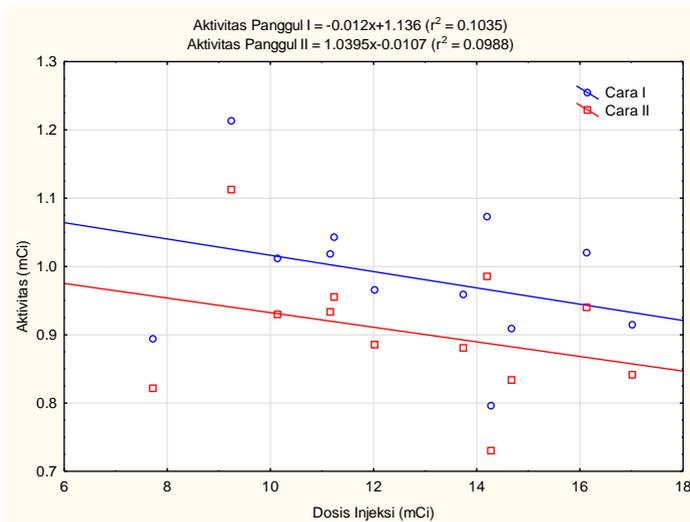
Organ	Metode tanpa koreksi		Metode Koreksi	
	T2DM	non DM	T2DM	non DM
Panggul	0.1127	0.2120	0.1128	0.2136
1/3 proksimal os femur kanan	0.2801	0.0672	0.2745	0.0587
1/3 proksimal os femur Kiri	0.0917	0.0284	0.093	0.021
Kandung kemih	0.2989	0.0571	0.3049	0.1060

Gambar 4.3 menunjukkan biodistribusi dosis aktivitas radiofarmaka yang diinjeksikan kedalam tubuh. Pada Gambar 4.3, DM I dan non DM I menunjukkan hasil perhitungan dengan metode tanpa koreksi, sementara DM II dan nonDM II merupakan hasil perhitungan dengan metode koreksi. Gambar 4.3 diperoleh dari Tabel 4.7 dan 4.8 yang diolah menjadi grafik batang dengan Microsoft Excel. Sementara itu Gambar 4.4-4.6 merupakan hasil korelasi seperti yang disebutkan pada Tabel 4.9 dan 4.10. Gambar

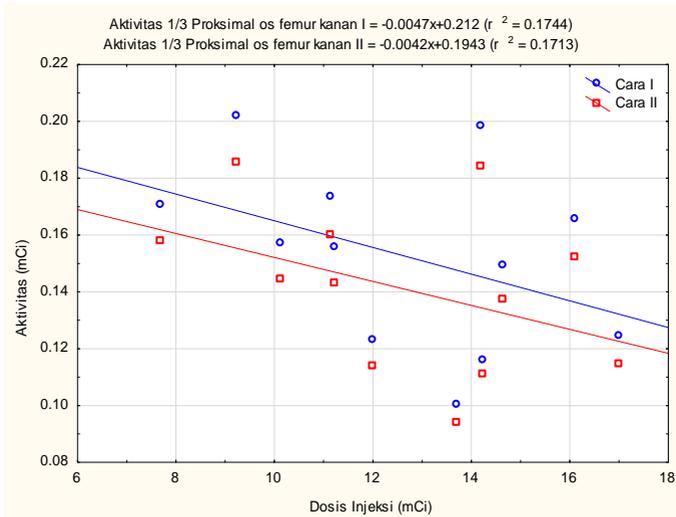
4.4 sampai 4.6 diolah menjadi grafik dengan *software* Statistica Version 10.



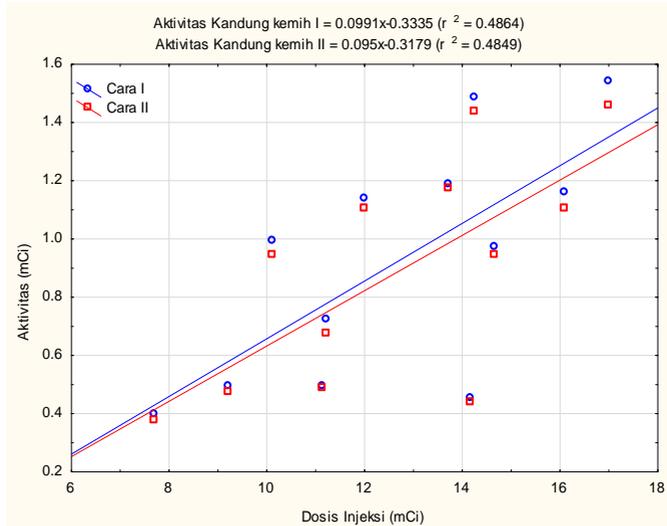
Gambar 4.3 Biodistribusi aktivitas Tc^{99m} MDP



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Aktivitas terhadap Dosis Injeksi Panggul pada Sukarelawan T2DM



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Aktivitas terhadap Dosis Injeksi 1/3 Proximal Os Femur Kanan pada Sukarelawan T2DM



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Aktivitas terhadap Dosis Injeksi Kandung Kemih pada Sukarelawan T2DM

4.4 Pembahasan

Telah dilakukan pemeriksaan pemindaian tulang kepada 21 sukarelawan dengan rerata umur (58.14 ± 7.05) tahun, 12 sukarelawan T2DM dan 9 sukarelawan non DM menggunakan kamera gamma *dual head* AnyScan Mediso buatan Hongaria dengan kolimator jenis LEHR (*Low Energy High Resolution*) dan batas *window* 20%. Radioisotop yang diberikan yaitu Tc^{99m} dan kit farmaka MDP dengan rerata dosis yang diinjeksikan (12.4 ± 2.64) mCi atau (458 ± 97.78) MBq. Dosis yang diberikan kepada sukarelawan sesuai dengan batas dosis yang telah ditentukan yaitu antara (8-20) mCi atau (300-740) MBq (Bombardieri et al., 2003). Digunakan radioisotop Tc^{99m} yang memancarkan radiasi gamma karena memiliki waktu paruh yang relatif singkat sekitar 6 jam dengan harapan radiasi gamma yang dipancarkan akan segera “habis” setelah pemeriksaan selesai. Sebelum sukarelawan menjalani pemeriksaan, sukarelawan disarankan untuk meminum air mineral sebanyak-banyaknya dan BAK ditempat yang telah disediakan. Hal ini bertujuan untuk mengeluarkan radioisotop yang tersimpan didalam kandung kemih agar tidak mengganggu ketika pengambilan citra pada daerah panggul (Bombardieri et al., 2003).

Tc^{99m} MDP yang masuk kedalam tulang memancarkan radiasi gamma, dimana energi radiasi gamma yang ditangkap oleh detektor sintilasi kamera gamma mengalami pelemahan atau pengurangan. Hal ini disebabkan karena adanya atenuasi dari tebal organ yang ditembus oleh sinar gamma. Setelah Tc^{99m} MDP meresap kedalam tulang, maka estimasi aktivitas ditulang lebih besar dari organ lain seperti jaringan lunak. Radiasi gamma yang dipancarkan oleh Tc^{99m} dari tulang ini akan menembus lapisan diatas tulang (jaringan lunak). Saat menembus jaringan lunak ini membutuhkan energi yang besarnya bergantung dari tebal jaringan yang dilalui. Dengan kata lain, radiasi gamma yang dipancarkan oleh tulang akan mengalami pelemahan sesuai tebal organ yang dilalui. Kemudian, radiasi gamma akan menumbuk kolimator kamera gamma. Kolimator akan menyerap atau

menangkap radiasi gamma yang arahnya sesuai dengan arah kolimator. Artinya, kolimator membatasi radiasi gamma yang masuk. Setelah itu, radiasi gamma akan masuk kedalam detektor sintilasi (kristal NaI Tl). Radiasi yang masuk detektor digunakan oleh elektron yang berada didalam pita valensi untuk berpindah menuju pita konduksi. Setelah sampai pada pita konduksi, elektron berada dalam keadaan jenuh dan akan kembali menuju keadaan sebelumnya sambil memancarkan foton. Foton yang dipancarkan ini sebanding dengan radiasi gamma yang ditangkap detektor. Kemudian foton akan masuk kedalam *photomultiplier tube* (PMT), disini foton akan diubah menjadi fotoelektron atau sinyal listrik yang akhirnya diperoleh gambar atau citra organ yang dinilai.

Hasil olah data berupa cacahan , dikonversikan menjadi satuan aktivitas mCi dengan cara melakukan pemindaian sejumlah 1.4476 mCi untuk setiap menit selama 10 menit dengan jarak 7 cm dari posisi anterior dan posterior yang ditampilkan pada Gambar 4.2. Pada Gambar 4.2 ini juga memberikan informasi berupa waktu peluruhan dari Tc^{-99m} , terlihat bahwa Tc^{-99m} mengalami peluruhan terhadap waktu, diketahui bahwa hasil *cacahan* pada citra posterior memiliki hubungan yang sangat kuat dengan nilai r sebesar 0.9678, sementara pada citra anterior juga memiliki hubungan sangat kuat dengan nilai r sebesar 0.9192. Terlihat bahwa hasil *cacahan* pada citra posterior lebih besar dari citra anterior, padahal pemindaian dilakukan dengan meletakkan jarum suntik yang berisi 1.4476 mCi diatas meja pemeriksaan yang seharusnya citra anterior memiliki nilai *cacahan* lebih besar karena terletak didekat kamera, seperti azas proteksi radiasi, bahwa semakin dekat ke sumber maka jumlah paparan radiasi akan semakin tinggi.

Pada peta peluruhan 1.4776 mCi menunjukkan kebalikannya, hal ini disebabkan karena pihak produsen Kamera Gamma AnyScan Mediso menambah program “faktor x” kedalam sistem sebagai pengganti atenuasi terhadap meja pemeriksaan sehingga citra posterior akan lebih besar dari citra anterior.

Namun, hal ini tidak bisa digunakan sebagai acuan karena hasil pemindaian bergantung dari fungsional organ yang dinilai. Peta peluruhan biasanya ditunjukkan dengan bentuk penurunan secara eksponensial, namun pada peluruhan 1.4476 mCi tidak menunjukkan penurunan secara eksponensial. Hal ini disebabkan karena waktu pencacahan hanya diambil selama 10 menit atau 0.027 kali dari waktu paruh Tc^{99m} yaitu 6 jam sehingga hanya menunjukkan garis lurus.

4.4.1 Dosis Aktivitas

Pada penelitian ini, organ yang diamati adalah tulang panggul dan 1/3 proksimal os femur. Pemindaian dilakukan ± 1 jam setelah injeksi melalui intravena. Hal ini disebabkan karena Tc^{99m} MDP membutuhkan waktu untuk dapat terestimasipada tulang. Ketika radiofarmaka Tc^{99m} MDP diinjeksikan kedalam tubuh sukarelawan melalui pembuluh darah dibagian lengan, maka Tc^{99m} MDP akan mengikuti metabolisme tubuh dan menuju tulang. Kit Farmaka MDP digunakan untuk membawa Tc^{99m} menuju tulang. Selama proses injeksi, waktu tunggu dan pemindaian berlangsung, Tc^{99m} terus memancarkan radiasi gamma. Oleh karena itu, sukarelawan yang telah diinjeksikan Tc^{99m} MDP harus terus berada di ruang pemindaian sampai proses pemindaian selesai. Tc^{99m} MDP yang meresap dalam tulang (berada didalam tubuh) terus memancarkan radiasi gamma, yang semakin lama jumlah aktivitas yang dipancarkan semakin berkurang atau menurun secara eksponensial. Hal ini dapat dilihat dalam Gambar 4.2 yaitu grafik penurunan Tc^{99m} terhadap waktu. Namun, bagi pekerja dan AUR, semakin lama berada didekat sumber radiasi, semakin besar paparan yang diterima. Dalam penelitian Tugas Akhir ini, yang digunakan adalah data statik daerah panggul dan 1/3 proksimal os femur dekstra et sinistra. Artinya, *cacahan* yang diperoleh hanya dari satu waktu saja. Dari *cacahan* ini kemudian dapat diperoleh estimasiaktivitas Tc^{99m} selama selang pemeriksaan sukarelawan atau mulai waktu injeksi radiofarmaka sampai proses pemindaian.

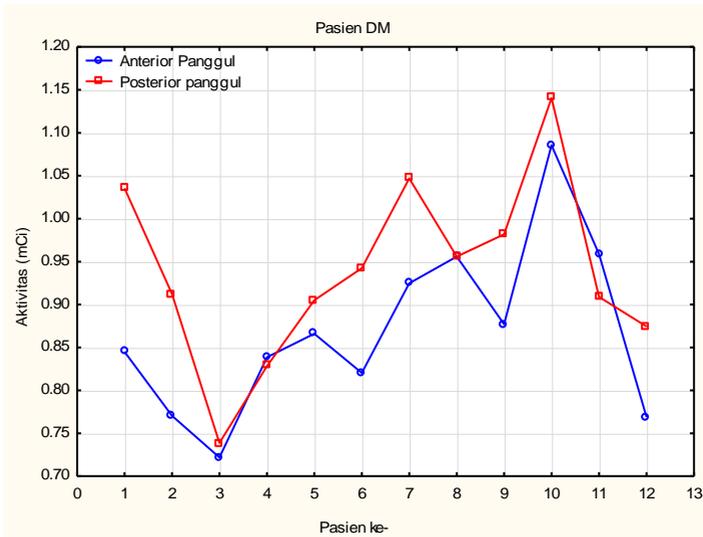
Dosis aktivitas yang terestimasi pada organ diperoleh melalui proses olah data menggunakan *freehands* ROI pada komputer kamera gamma. Dari dua metode perhitungan yang telah dilakukan, dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.5 bahwa dosis aktivitas yang terestimasi pada tulang panggul lebih besar dari pada kandung kemih dan tulang 1/3 proksimal os femur baik untuk sukarelawan T2DM dan non DM. Hal ini disebabkan karena ukuran tulang panggul lebih besar dan padat jika dibandingkan dengan 1/3 proksimal os femur yang dapat dilihat pada Tabel 4.6, secara umum semakin luas area organ yang dinilai (di ROI), maka semakin besar aktivitas Tc^{99m} MDP diorgan tersebut. Artinya semakin lebar ukuran tulang, maka kemungkinan estimasi dosis aktivitas pada organ tersebut semakin tinggi. Namun, yang menjadi perhatian adalah dosis aktivitas pada kandung kemih lebih besar dari pada 1/3 proksimal os femur. Hal ini karena, kandung kemih merupakan tempat metabolisme Tc^{99m} MDP yang nantinya akan dikeluarkan lewat urin. Perhitungan menggunakan Metode tanpa koreksi dan Cara 2 menghasilkan nilai aktivitas yang hampir sama. Selisih estimasi sukarelawan DM pada panggul sebesar 0.05 mCi, os femur kanan sebesar 0.01, os femur kiri sebesar 0.014 mCi dan kandung kemih sebesar 0.058 mCi. Pada sukarelawan non DM memiliki selisih panggul sebesar 0.079 mCi, os femur kanan sebesar 0.015 mCi, os femur kiri sebesar 0.014 mCi dan kandung kemih sebesar 0.002 mCi. Oleh karena itu diperoleh informasi bahwa memperhitungkan atenuasi tidak banyak memberikan perbedaan untuk estimasi dosis aktivitas organ.

Sementara itu, untuk hasil estimasi aktivitas sukarelawan non DM lebih tinggi daripada sukarelawan T2DM baik untuk panggul maupun 1/3 proksimal os femur pada kedua metode perhitungan. Hal ini dapat disebabkan karena pada sukarelawan T2DM kemungkinan mengalami penurunan fungsi tulang walaupun selisih hasil estimasi aktivitasnya tidak signifikan antara sukarelawan T2DM dan non DM. Namun, untuk estimasi aktivitas pada kandung kemih lebih tinggi sukarelawan T2DM daripada

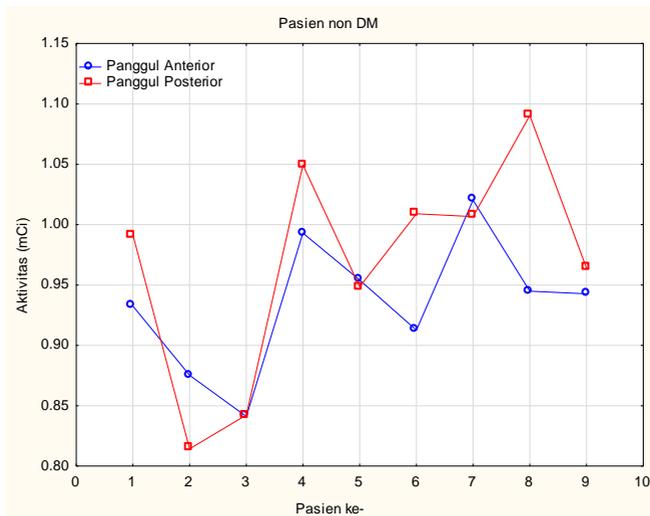
non DM. Hal ini terjadi karena pada sukarelawan dengan DM kandungan gula didalam peredaran darah tinggi, sehingga didalam urin sukarelawan juga terdapat kandungan gula. Gula menarik banyak cairan sehingga menyebabkan sukarelawan akan sering membuang urin atau berkemih (Nugroho, 2012). Oleh karena itu, estimasi Tc^{99m} MDP pada kandung kemih sukarelawan T2DM lebih besar.

Dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 bahwa aktivitas Tc^{99m} MDP tulang panggul pada posisi posterior lebih besar dari posisi anterior baik pada sukarelawan T2DM maupun non DM. Hal ini disebabkan karena posisi tulang panggul posterior lebih dekat dengan detektor pada kamera gamma. Selain itu juga, karena panggul posterior memiliki komposisi tulang yang lebih padat dibandingkan anterior sehingga Tc^{99m} MDP akan lebih banyak terestimasi pada sel-sel blast posterior (sel-sel darah muda yang dihasilkan oleh sumsum tulang). Sementara itu, untuk aktivitas Tc^{99m} MDP kandung kemih lebih besar pada posisi anterior daripada posterior baik pada sukarelawan T2DM maupun non DM. Hal ini juga disebabkan karena posisi kandung kemih anterior lebih dekat dengan detektor kamera gamma dibandingkan pada posisi posterior. Hal ini sesuai dengan asas proteksi radiasi yang menyatakan bahwa semakin dekat jarak terhadap sumber radiasi, maka dosis yang diterima semakin besar pula.

Pada Gambar 4.7, dapat dilihat bahwa beberapa sukarelawan yaitu sukarelawan 004 dan 011, sementara pada Gambar 4.8 pada sukarelawan 002, 005 dan 007 memiliki estimasi aktivitas yang besar pada posisi anterior, dalam artian tidak sesuai dengan penjelasan sebelumnya. Hal ini dapat disebabkan karena pembuatan ROI yang terlalu lebar pada posisi anterior sehingga menyebabkan dosis aktivitas anterior panggul lebih besar dari pada posterior. Selain itu juga disebabkan karena kualitas citra yang kurang bagus atau batas noise yang tidak tegas (gambar tidak tajam) sehingga kemungkinan ROI yang dibuat tidak hanya pada foton melainkan scatter juga ikut.

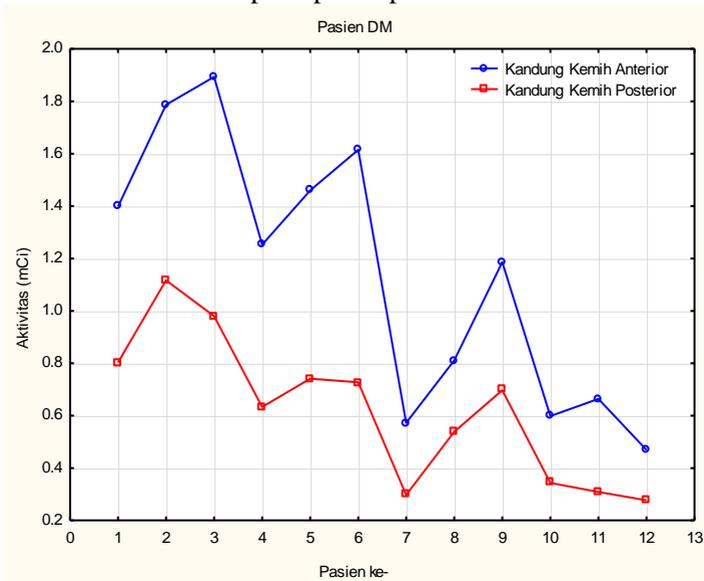


Gambar 4.7 Plot Grafik Aktivitas Tulang Panggul Sukarelawan T2DM

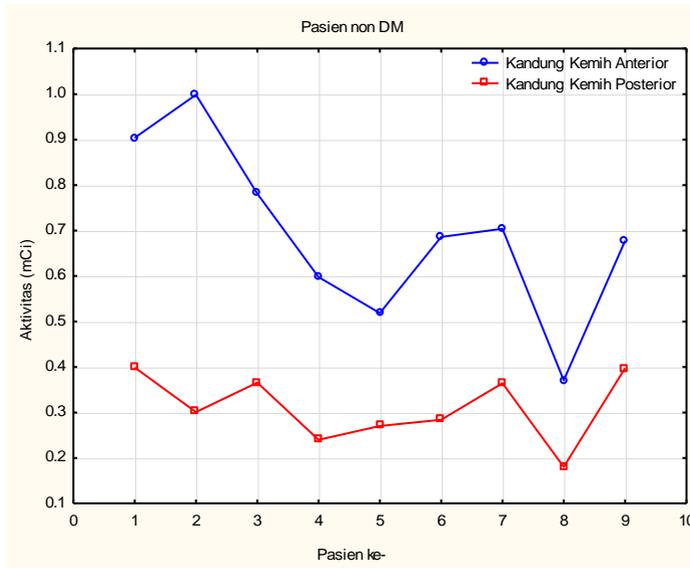


Gambar 4.8 Plot Grafik Aktivitas Tulang Panggul Sukarelawan non DM

Pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10, dapat dilihat estimasi dosis aktivitas pada kandung kemih untuk semua sukarelawan lebih besar pada posisi anterior dibandingkan posterior. Hal ini sesuai dengan penjelasan sebelumnya yaitu karena posisi kandung kemih berada didepan bagian tubuh dan dekat dengan kamera gamma sehingga tangkapan radiasi gamma anterior lebih besar dari pada posisi posterior.



Gambar 4.9 Plot Grafik Aktivitas Kandung Kemih sukarelawan T2 DM



Gambar 4.10 Plot Grafik Aktivitas Kandung Kemih sukarelawan non DM

4.4.2 Biodistribusi Tc^{99m} MDP

Radiofarmaka Tc^{99m} MDP yang masuk kedalam tubuh akan mengikuti proses metabolisme tubuh sebelum akhirnya menuju tulang. Tc^{99m} MDP akan mengikuti distribusi aliran pembuluh darah melalui jantung. Kemudian, jantung memompa Tc^{99m} MDP keseluruh tubuh, 50% yang diinjeksikan akan masuk ke dalam tulang dan sisanya diekskresikan dalam kandung kemih melalui urin (Bombardieri et al., 2003). Pada Gambar 4.3, dapat dilihat bahwa Tc^{99m} MDP yang diinjeksikan hanya beberapa persen yang masuk kedalam tulang, yaitu pada sukarelawan DM dengan 7.74% ditulang panggul, 1.22% pada 1/3 proksimal os femur kanan, 1.19% pada 1/3 proksimal os femur kiri, 6.84% pada kandung kemih. Sementara pada sukarelawan non DM dengan 8.21% ditulang panggul, 1.43% pada 1/3 proksimal os femur kanan, 1.36% pada 1/3 proksimal os femur kiri, 4.18% pada kandung kemih. Karena hanya beberapa dari Tc^{99m} MDP

yang masuk ke dalam tulang, sisanya ada pada organ yang tidak dinilai seperti ginjal, tulang belakang, tulang kaki, lutut, tulang dada dll. Prosentase kandung kemih cukup besar, padahal sebelum dilakukan pemindaian, sukarelawan disarankan minum sebanyak-banyaknya dan BAK ditempat yang telah disediakan. Hal ini menunjukkan bahwa, radiofarmaka Tc^{99m} MDP yang diinjeksikan sebagian besar akan diekskresikan atau dibuang melalui urin.

4.4.3 Korelasi

Pada penelitian ini, dicari hubungan antara dosis aktivitas yang terestimasi pada organ terhadap dosis injeksi dan lama penyinaran. Korelasi yang dijadikan acuan berdasarkan Spearman dan Pearson (Saragih et al., 2018). Hasil korelasi antara dosis aktivitas pada panggul terhadap dosis injeksi dapat dilihat pada Tabel 4.9, untuk sukarelawan T2DM menunjukkan hubungan yang lemah dengan nilai r^2 sebesar 0.0988 dan memiliki hubungan moderat dengan r^2 sebesar 0.3849 untuk sukarelawan non DM. Hal ini disebabkan karena dosis yang terestimasi pada panggul jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan seluruh tubuh. Sementara itu, korelasi pada 1/3 proksimal os femur kanan untuk sukarelawan T2DM dengan nilai r^2 sebesar 0.1713 dan os femur kiri sebesar 0.0001, keduanya menunjukkan hubungan yang lemah dan kurang berarti. Sementara untuk sukarelawan non DM korelasi pada 1/3 proksimal os femur kanan dengan nilai r^2 sebesar 0.0271 yang menunjukkan hubungan kurang berarti dan os femur kiri dengan nilai r^2 sebesar 0.000 yang menunjukkan tidak ada hubungan antara dosis injeksi terhadap dosis aktivitas. Sementara itu, untuk korelasi antara aktivitas kandung kemih terhadap dosis injeksi sukarelawan T2DM dengan nilai r^2 sebesar 0.4849 dan sukarelawan non DM sebesar 0.4442, keduanya menunjukkan hubungan yang moderat. Artinya semakin banyak dosis injeksi pada sukarelawan, semakin besar pula estimasi aktivitas radiasi pada kandung kemih.

Pada Tabel 4.10, dapat dilihat korelasi antara dosis aktivitas pada organ terhadap lama penyinaran. Untuk sukarelawan T2DM dan non DM menunjukkan hubungan yang lemah dengan nilai r^2 sebesar 0.1128 dan 0.2136. Hal ini disebabkan karena dosis yang terestimasipada panggul jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan seluruh tubuh. Sementara itu, korelasi pada 1/3 proksimal os femur kanan untuk sukarelawan DM dengan nilai r^2 sebesar 0.2745 dan os femur kiri dengan nilai r^2 sebesar 0.093, keduanya menunjukkan hubungan yang lemah dan kurang berarti. Sementara untuk sukarelawan non DM korelasi pada 1/3 proksimal os femur kanan dengan nilai r^2 sebesar 0.0587 dan os femur kiri dengan nilai r^2 sebesar 0.0210 , keduanya menunjukkan hubungan yang kurang berarti. Untuk korelasi antara aktivitas kandung kemih terhadap lama pemeriksaan sukarelawan T2DM memiliki hubungan moderat dengan nilai r^2 sebesar 0.3049 dan sukarelawan non DM yang memiliki hubungan lemah dengan r^2 sebesar 0.1060. Dari hasil korelasi dapat dilihat jika kandung kemih akan memiliki estimasiaktivitas yang tinggi ketika dosis injeksi yang diberikan tinggi. Pada sukarelawan T2DM semakin lama pemeriksaan, semakin banyak pula estimasiaktivitasnya,namun hal ini tidak berlaku untuk sukarelawan non DM. Hal ini terjadi karena kandung kemih sukarelawan T2DM memiliki banyak kandungan gula yang mana gula menarik banyak cairan sehingga menyebabkan sering buang air.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian Tugas Akhir tentang estimasi dosis aktivitas dengan metode pemindaian tulang diperoleh informasi bahwa perhitungan menggunakan metode non koreksi lebih akurat dibandingkan metode koreksi, karena memperhitungkan faktor atenuasi dan tebal organ. Dapat disimpulkan bahwa:

1. Estimasi dosis aktivitas pada tulang panggul orang non DM relatif lebih besar dari orang dengan T2DM. Pada orang T2DM dengan metode non koreksi dan metode koreksi sebesar (0.985 dan 0.9) mCi. Sementara pada pasien non DM dengan metode non koreksi dan metode non koreksi sebesar (1.03 dan 0.951) mCi.
2. Estimasi dosis aktivitas 1/3 proksimal os femur kanan orang non DM relatif lebih besar dari orang dengan T2DM. Dengan metode non koreksi dan metode koreksi sebesar (0.152 dan 0.142) mCi dan kiri sebesar (0.151 dan 0.137) untuk orang T2DM. Sementara untuk orang non DM dengan estimasi dosis aktivitas 1/3 proksimal os femur kanan dengan metode non koreksi dan koreksi sebesar (0.181 dan 0.166) mCi dan kiri sebesar (0.173 dan 0.159) mCi.
3. Estimasi dosis aktivitas pada kandung kemih relatif lebih besar pada orang dengan T2DM dari pada orang nonDM. Dengan metode non koreksi dan metode koreksi sebesar (0.918 dan 0.86) mCi , sementara pada orang non DM sebesar (0.504 dan 0.502) mCi.

5.2 Saran

Dalam penelitian Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan atau hal yang penulis belum lakukan, yang kedepannya diharapkan dapat dilakukan oleh peneliti selanjutnya yaitu :

1. Mengukur *background* radiasi ruangan
2. Mengukur *background* radiasi jaringan lunak dengan berkonsultasi pada dokter kedokteran nuklir.
3. Memiliki data dinamik pemindaian orang
4. Melakukan pemindaian secara lateral untuk mengetahui tebal organ yang dinilai dan menentukan dosis serap pada tubuh.
5. Memiliki data pemindaian seluruh tubuh
6. Lebih baik jika memiliki data dengan metode bone scan 3 fase
7. Dilakukan untuk lebih banyak orang, variasi umur dan jenis kelamin.
8. Untuk menentukan tingkat metastatis pada kanker, bisa dilakukan dengan menggunakan variasi patologis pada orang misal kanker prostat dll.
9. Sebaiknya pemindaian dilakukan 2-3 jam setelah injeksi karena jika 1 jam setelah injeksi, citra yang dihasilkan tidak terlalu tajam sehingga baats noise tidak tegas.

DAFTAR PUSTAKA

- Bailey, D.L., American Association of Physicists in Medicine (Eds.), 2014. Nuclear medicine physics: a handbook for teachers and students, STI/PUB. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Ballinger, J.R., 2008. The Radiopharmacy A Technologist's Guide.
- Bambara, L.T., Kyere, A.K., Hasford, F., Sosu, E.K., Wilson, I.K., 2015. Estimation of kidney and bladder radionuclide activity for patients undergoing bone scan. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* 8, 317–322. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.04.005>
- Bombardieri, E., Aktolun, C., Baum, R.P., Bishof-Delaloye, A., Buscombe, J., Chatal, J.F., Maffioli, L., Moncayo, R., Mortelmans, L., Reske, S.N., 2003. Bone scintigraphy: procedure guidelines for tumour imaging. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging* 30, 1–1. <https://doi.org/10.1007/s00259-003-1347-2>
- Filzen, L.M., Ellingson, L.R., Paulsen, A.M., Hung, J.C., 2017. Potential Ways to Address Shortage Situations of $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. *J. Nucl. Med. Technol.* 45, 1–5. <https://doi.org/10.2967/jnmt.116.185454>
- Francis, H., Ebele Huegette, Y.Y., Kwame, K.A., Kojo, W.I., Otoe, A.A., Kwabla, S.E., 2015. Quantification of radionuclide uptake levels for primary bone tumors. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* 8, 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2014.12.011>
- Francis, H., Kwabla, S., Otoe, A., Huguette, Y.E., Kwame, K., Kojo, W., 2014. Comparative Study of Radionuclide Uptake Levels between Primary and Metastatic Bone Tumors. *World J. Nucl. Med.* 13, 50. <https://doi.org/10.4103/1450-1147.138575>
- (https://humanhealth.iaea.org/HHW/Radiopharmacy/VirRad/Eluting_the

_Generator/Generator_Module/Design_principles/index.html)

diakses pada 16 Desember 2019 pukul 10.15

International Atomic Energy Agency, V., 1984. QUALITY CONTROL OF NUCLEAR MEDICINE INSTRUMENTS.

Langsteger, W., Rezaee, A., Pirich, C., Beheshti, M., 2016. 18F-NaF-PET/CT and 99mTc-MDP Bone Scintigraphy in the Detection of Bone Metastases in Prostate Cancer. *Semin. Nucl. Med.* 46, 491–501. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2016.07.003>

Maher, K., 2006. BASIC PHYSICS OF NUCLEAR MEDICINE 109.

Naddaf, S.Y., Collier, B.D., Elgazzar, A.H., Khalil, M.M., 2004. Technical Errors in Planar Bone Scanning. *J. Nucl. Med. Technol.* 32, 7.

Nugroho, S., 2012. MEDIKORA Vol. IX, No 1 Oktober 2012 15. On behalf of the EANM Bone & Joint Committee and the Oncology Committee., Van den Wyngaert, T., Strobel, K., Kampen, W.U., Kuwert, T., van der Bruggen, W., Mohan, H.K., Gnanasegaran, G., Delgado-Bolton, R., Weber, W.A., Beheshti, M., Langsteger, W., Giammarile, F., Mottaghy, F.M., Paycha, F., 2016. The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging* 43, 1723–1738. <https://doi.org/10.1007/s00259-016-3415-4>

Carrio, ignasi dkk. 2019. "Nuclear Medicine Textbook: Methodology and Clinical Applications". Springer

Purwati, T., Setiabudi, W., 2016. Penentuan Waktu Paro Biologi Tc99m MDP pada Pemeriksaan Bone Scanning. *Youngster Phys. J.* 5, 8.

Raynaud-Messina, B., Verollet, C., Maridonneau-Parini, I., 2019. The osteoclast, a target cell for microorganisms. *Bone* 127, 315–323. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2019.06.023>

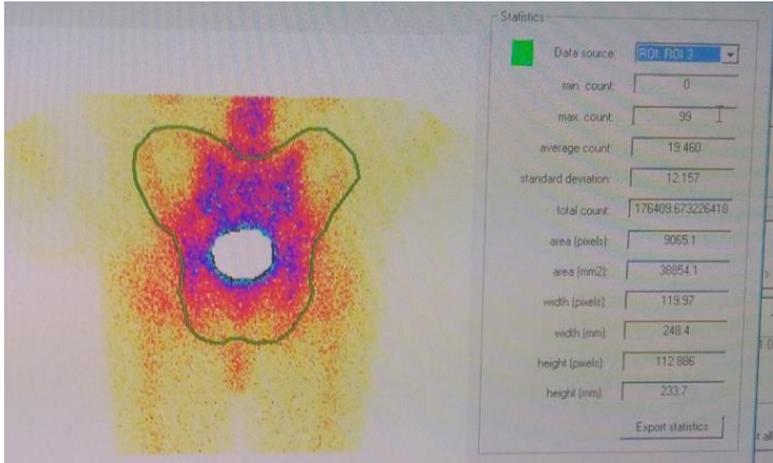
Saragih, J.H., Irhas, R., Nazir, F., Santoso, B., 2018. UPTAKE RADIOAKTIVITAS TC-99M MDP PADA DAERAH

LUTUT DAN SACROILLIAC JOINTS DARI PASIEN KANKER PROSTAT YANG DILAKUKAN PEMERIKSAAN BONE SCAN 10.

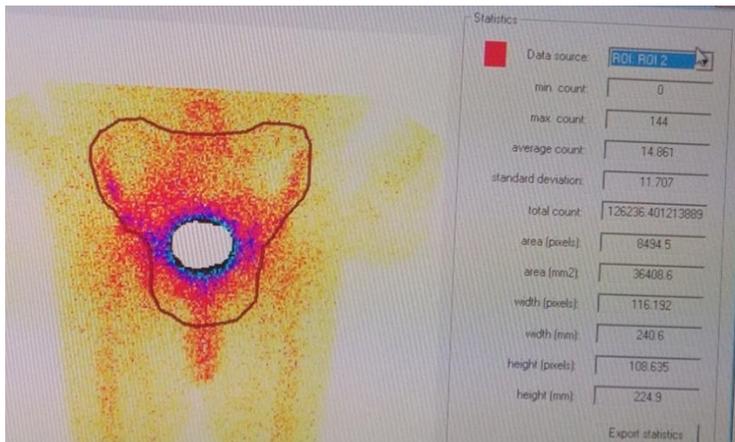
- Ueno, Y., Takahashi, I., Ishitsu, T., Tadokoro, T., Okada, K., Nagumo, Y., Fujishima, Y., Yoshida, A., Umegaki, K., 2018. Development of a high sensitivity pinhole type gamma camera using semiconductors for low dose rate fields. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. Accel. Spectrometers Detect. Assoc. Equip.* 893, 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.03.008>
- Verma, S., Kumar, N., Kheruka, S., Gambhir, S., 2016. Extraosseous ^{99m}Tc-methylene diphosphonate uptake on bone scan: Unusual scenario. *Indian J. Nucl. Med.* 31, 280. <https://doi.org/10.4103/0972-3919.190799>
- Wilhelmina C.A.M., B., Jeffry A., S., Otto. C, B., Frans H.M., C., 1998. Absoluted Organ Activity Estimated by Five Different Methods of Background Correction. *Journal of Nuclear Medicine* 39.
- Zaidi, H. (Ed.), 2006. *Quantitative analysis in nuclear medicine imaging*. Springer, New York, NY.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

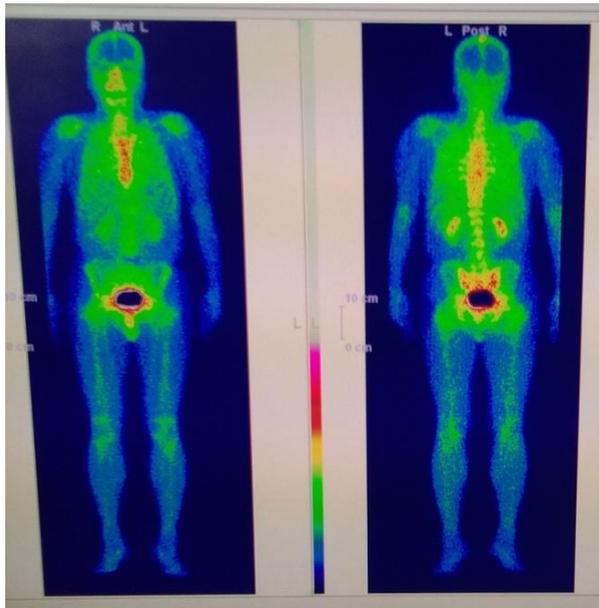
LAMPIRAN



Gambar 4.11 Hasil citra panggul posterior



Gambar 4.12 Hasil citra panggul anterior



Gambar 4.13 Hasil citra *whole Image* orang 001 T2DM

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Salma Niatu Zakiah, penulis dilahirkan di Blitar 16 Maret 1998. Penulis anak dari pasangan Alm.Sugito dan Muslikah, anak kedelapan dari delapan bersaudara. Riwayat pendidikan penulis yaitu, SDN Kemloko 001 Nglegok Blitar lulus tahun 2010, SMPN 001 Nglegok lulus pada tahun 2013, SMAN 2 Blitar lulus pada tahun 2016. Tahun 2016 masuk Departemen Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil bidang minat Fisika Medis dan

Biofisika. Pengalaman penulis semasa kuliah yaitu sebagai staf UKM Technopreneurship Development Center (TDC), asisten dosen Fisika I, asisten dosen Fisika II, asisten laboratorium Fisika I, kerja praktek di RSUD Dr.Soetomo Surabaya dibagian unit Radioterapi, kerja praktek di Pusat Teknologi dan Keselamatan Metrologi Radiasi/PTKMR Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BATAN) bagian kedokteran nuklir dan kalibrasi Alat Ukur Radiasi. Motto hidup penulis adalah **“Kunci kemenangan dalam sebuah pertarungan bukanlah kekuatan fisik atau strategi, melainkan kesabaran. Siapa yang paling sabar, dialah yang akan menang”**

Email:salmaniatuzakiah98@gmail.com